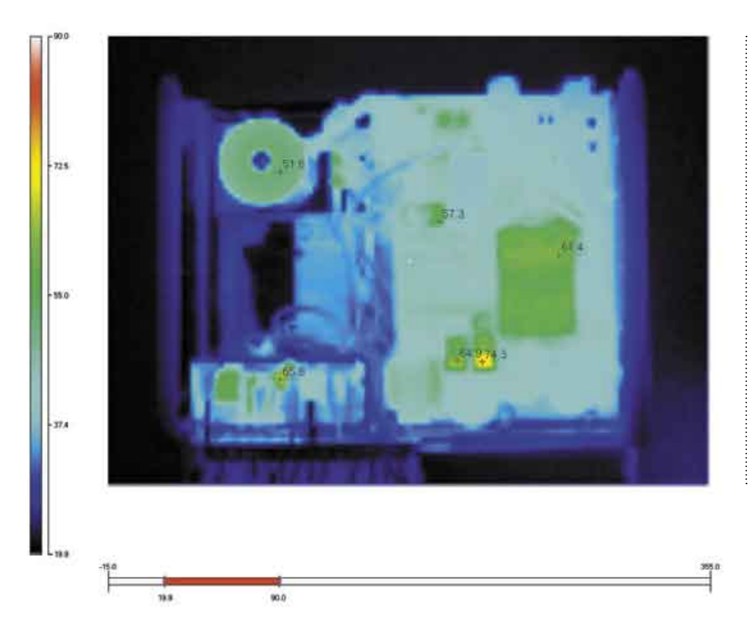
Auf der Suche nach heißen Spuren

Thermografiekameras sind teuer, ihre Handhabung und die Auswertung der Bilder erfordern einige Übung. Dafür aber lassen sich sogar Defekte entdecken, die noch gar nicht wirksam sind. Worauf kommt es an, welche Geräte sind geeignet?







photon-pictures.com

▲ Thermografie und Normalaufnahme eines Wechselrichters

Zeit ist Geld. Diese unromantische, aber ökonomisch umso wichtigere Erkenntnis hat längst auch die Solarbranche eingeholt. Installateure, die in die Zukunft schauen, werden zusätzlich erkannt haben, dass ihr Aufgabengebiet nicht auf die reine Errichtung von Photovoltaikanlagen beschränkt bleiben wird. Mit der steigenden Zahl von Systemen, die schon ein paar Betriebsjahre hinter sich haben, wird die Überprüfung von Altanlagen ein immer wichtigeres Betätigungsfeld. Hier lässt sich viel Zeit und damit Geld sparen, wenn man sich auf dem aktuellen Stand der Messtechnik bewegt. Und selbstverständlich helfen moderne Messwerkzeuge auch bei der Errichtung von neuen Anlagen dabei, die Produktivität und Qualität der Arbeit zu erhöhen.

Ein wichtiges, derzeit aber noch wenig genutztes Mittel hierfür ist die Thermografie: ein bildgebendes Messverfahren, das Wärmestrahlung sichtbar macht. Für den Solarteur heißt das, Herstellungsfehler, Transportschäden, Montagefehler und Schäden, die erst im laufenden Betrieb entstehen, können an beinahe allen Anlagenkomponenten schnell und einfach entdeckt und, was am wichtigsten ist, in Echtzeit lokalisiert werden. Das spart viel Zeit bei der Fehlersuche und zum Teil auch bei der Abwicklung von Reklamationen, da Hersteller und Großhändler Thermografiebilder zum Teil als Fehlerdokumentation akzeptieren. Zusätzlich können auch sich anbahnende Defekte, wie zum Beispiel heiße Lötstellen, erkannt werden, bevor sie Probleme machen. Diese vorausschauende Fehlerdiagnose kann kaum ein anderes Messverfahren leisten.

Frederic Neema / photon-pictures.com

◀ Eine Frage des Standpunkts: Schon die richtige Wahl der Kameraposition spielt eine wichtige Rolle für die Qualität von Thermografieaufnahmen

Thermografiekameras werden schon seit Jahrzehnten in verschiedensten Bereichen eingesetzt. In jüngster Zeit haben Studien zum Beispiel durch das bayrische Zentrum für Angewandte Energieforschung e. V. (ZAE) gezeigt, dass sie auch für die zerstörungsfreie Prüfung von bestehenden und neu installierten Anlagen geeignet sind. Die hiermit vor allem an Modulen detektierbaren Fehler sind vielfältig und reichen von Defekten an sämtlichen elektronischen Komponenten wie Bypass-Dioden und Verbindern bis zu mechanischen Schäden wie Delamination oder Zellbruch. Ebenso sind Verschmutzungen des Generators mit Thermografie leichter zu erkennen. Aber auch andere Anlagenkomponenten können mit Wärmebildern überprüft werden, wie zum Beispiel Steckverbindungen und Wechselrichter.

Die steigende Beliebtheit dieses Prüfverfahrens liegt dabei vor allem wohl in seiner Schnelligkeit begründet. Im Idealfall lassen sich mit einem einfachen Kameraschwenk Fehler lokalisieren, die sonst nur über eine deutlich umständlichere Kennlinienmessung an jedem einzelnen Modul aufzuspüren wären.

Es gibt allerdings auch einen gewichtigen Grund, der gegen Thermografie spricht: Die Kameras sind sehr teuer. Doch das Preisgefüge ändert sich. Für den auf diesen Seiten dokumentierten Test fanden wir eine durchaus ansehnliche Auswahl von Geräten in der Preisklasse unterhalb von 10.000 Euro; einige weitere, nicht getestete Modelle finden sich in der Übersichtstabelle auf Seite 24.

Um aber einschätzen zu können, welche Kameras für den täglichen Einsatz am besten geeignet sind und was bei den Messungen generell zu beachten ist, braucht es ein wenig Grundlagenstudium. Die wichtigsten Fragen möchten wir hier klären.

Für Querleser

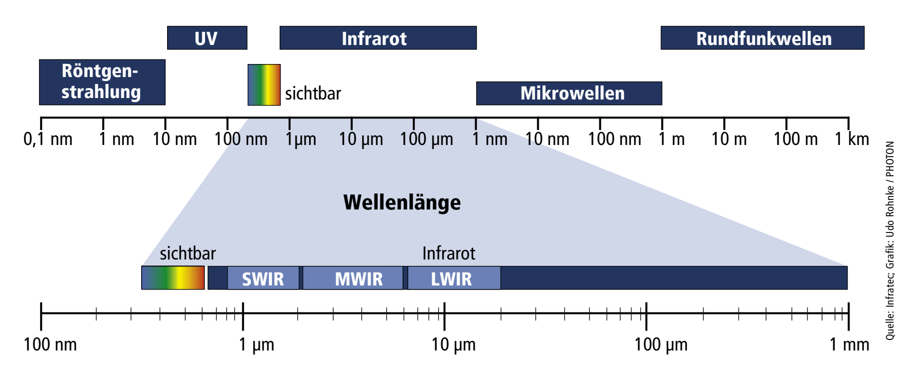
- Thermografiekameras, mit denen Solarteure die für ihre Arbeit nötigen Ergebnisse erzielen können, gibt es auch schon unterhalb von 10.000 Euro. Wir geben eine Marktübersicht und stellen sieben Geräte im Test vor.
- Fast alle Anbieter führen für ihre Kunden Schulungen durch; der Artikel gibt aber bereits erste Kriterien für die Entscheidung, ob die Anschaffung einer Kamera lohnt, indem er Einsatzmöglichkeiten und wichtige Grundsätze der Anwendung schildert.
- Hohe Temperaturunterschiede deuten meist auf Fehler hin. Deshalb lassen sich mit mobilen Thermografiekameras schnelle Analysen ganzer Solargeneratoren durchführen, aber auch einzelne Module nach Defekten absuchen. Weitere Komponenten von Photovoltaikanlagen, insbesondere Wechselrichter, und auch andere elektrotechnische Installationen können ebenfalls überprüft werden.

Theorie: Messtechnische Grundlagen

Die Thermografie macht es sich zunutze, dass alle Oberflächen ein für ihre jeweilige Temperatur charakteristisches Strahlungsspektrum aussenden. Bei hohen Temperaturen von etwas über 500 Grad befindet sich dieses Spektrum zum Teil bereits innerhalb des für das menschliche Auge sichtbaren Bereiches und zeigt sich als dunkelrotes Leuchten, wie zum Beispiel bei glühendem Metall. Bei tieferen Temperaturen bleibt die ausgesandte Strahlung dem menschlichen Auge im nicht wahrnehmbaren Infrarotbereich verborgen. Deshalb kann sie nur über eine Thermografiekamera und eine Falschfarbendarstellung sichtbar gemacht werden. Diese nimmt Infrarotbilder ähnlich auf, wie es eine Digitalkamera im sichtbaren Bereich macht. Im Grunde übersetzen Wärmebildkameras Wellenlängen aus dem Infrarotspektrum in andere, für uns wahrnehmbare Wellenlängen, also Farben. Welche Temperatur dabei durch welche Farbe dargestellt wird, ist einstellbar.

Bei den meist sehr teuren Festgeräten wird die einfallende Infrarotstrahlung – ähnlich wie das sichtbare Licht bei normalen Digitalkameras – direkt durch einen Fotodetektor gemessen. Die preiswerteren Mobilgeräte, um die es hier geht, messen die Infrarotstrahlung nur indirekt über die durch sie resultierende Erwärmung eines Sensors. Hierfür werden in der Regel sogenannte ungekühlte Mikrobolometer-Detektoren verwendet. Dies sind in zweidimensionalen Feldern angeordnete elektrische Thermowiderstände.

Elektromagnetisches Spektrum



▲ Thermografiekameras übersetzen das für den Menschen unsichtbare Spektrum der Wärmestrahlung in sichtbare Farben

Durch diese indirekte Messmethode entstehen gewisse Unsicherheiten bei der Anzeige der exakten Temperatur, die bei der Anwendung beachtet werden sollten. Für die exakte Angabe der Temperatur ist es bei indirekter Messung nämlich erforderlich, den genauen Emissionsgrad ε der Oberfläche zu kennen, die mit der Kamera beobachtet wird. Der Emissionsgrad bezeichnet die Fähigkeit einer Oberfläche, Strahlung abzugeben. Zwar kann man ihn bei den meisten Kameras einstellen, allerdings oft nur pauschal für das gesamte Bild, das sich in der Regel aus verschiedenen Oberflächen und damit verschiedenen Emissionsgraden zusammensetzt.

Normalerweise ist dies unproblematisch, weil sich die meisten Materialien mit Emissionsgraden um 0,9 nahe dem maximalen Wert von $\varepsilon = 1$ befinden, der in der Physik dem sogenannten idealen »schwarzen Strahler« zugeordnet wird. Außerdem hat die exakte Messung der vorliegenden Temperaturen zum Beispiel bei Modulen eine untergeordnete Bedeutung. Erstens wird die mittlere Modultemperatur ohnehin durch etliche schwer kalkulierbare Faktoren, etwa die Kühlung durch Windzug, beeinflusst. Vor allem ist es zweitens wichtiger, die Temperaturgradienten zu erfassen, also Temperaturunterschiede innerhalb eines Moduls zu erkennen. Sie sind es nämlich, die auf Fehler hindeuten.

Aufpassen muss man allerdings, wenn sich Metalloberflächen wie zum Beispiel die Modulrahmen im Bild befinden. Diese haben in der Regel einen sehr kleinen Emissionsgrad und werden dadurch leicht um mehrere zehn Grad falsch dargestellt. Hinzu kommt an dieser Stelle die Eigenschaft glatter Oberflächen, Infrarotstrahlung teilweise zu spiegeln, sodass man hier ungewollt Reflexionen aufnehmen kann. Hier ist dann das kundige Auge des Messtechnikers gefragt, um derartige Falschinformationen als solche erkennen zu können. Wegen dieser und weiterer Schwierigkeiten verlangt der Umgang mit Thermografiekameras vom Benutzer sowohl bei der Aufnahme der Bilder als auch bei deren Auswertung eine gewisse Erfahrung. Deshalb werden von vielen Herstellern Schulungen angeboten, deren Besuch sicher eine Überlegung wert ist. Einen ersten Einblick in die Vorgehensweise bei der Messung können wir aber auch gleich hier liefern.

Anforderungen an Thermografiekameras für den Einsatz bei Solarinstallateuren

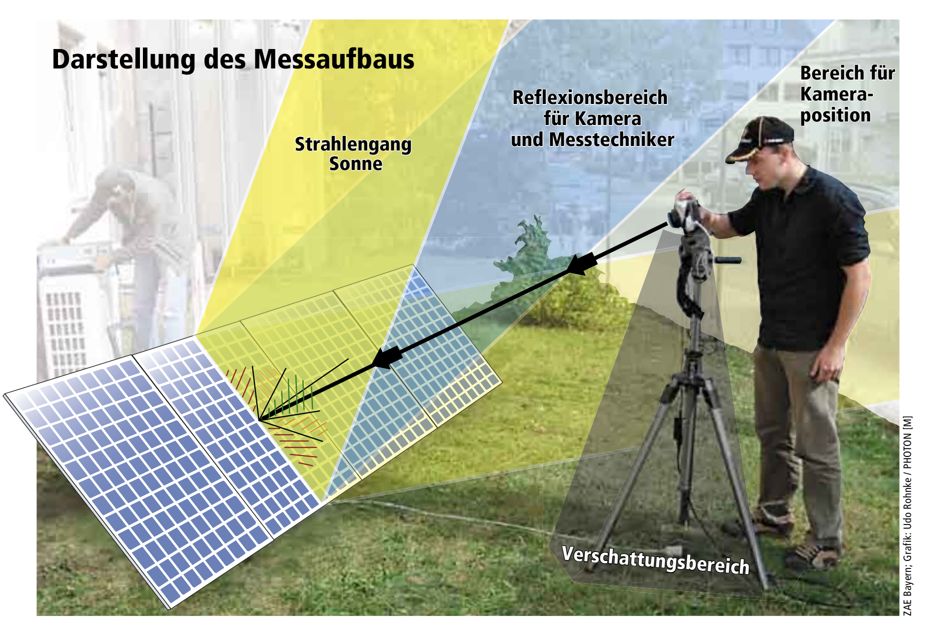
Eigenschaft	Anforderung
Temperaturbereich	-10 bis +100 Grad Celsius
Temperaturempfindlichkeit (NETD)	≤ 0,1 Grad Celsius
Temperaturgenauigkeit (absolut)	≤ 5 Prozent
Betriebstemperaturbereich	-10 bis +40 Grad Celsius
Schutzklasse	IP 54
Bildfrequenz	höher als 5 Hertz
Akkulaufzeit	mindestens 2 Stunden
Schirm zur Abschattung des Displays	erwünscht
Autofokus	erwünscht
Orientierung	über Laser oder (besser) über Digitalbild
Gewicht	≤ 1,5 Kilogramm
Detektorauflösung	mindestens 120 mal 120 Pixel
Gesichtsfeld (Bildwinkel) des Objektivs	kleiner als 35 Grad
Serviceangebote des Herstellers	erwünscht
Schulungen durch den Hersteller	erwünscht
Preis (netto)	unter 10.000 Euro

Praxis: Messung an Modulen

Für eine aussagekräftige Messung an Solargeneratoren sind gewisse meteorologische und auch anlagentechnische Voraussetzungen zu erfüllen. Auch gibt es bei der Ausrichtung der Kamera auf die Module viel zu beachten.

Zunächst sollte eine Messung nur bei höheren Einstrahlungswerten, also zur

Mittagszeit, erfolgen. Daher sind auch Messungen in den Wintermonaten nur bedingt sinnvoll. Als Orientierungswert kann eine Einstrahlung von etwa 500 Watt pro Quadratmeter gelten. Hiermit lassen sich in der Regel ausreichend starke elektrische Ströme und damit entsprechend aussagekräftige Temperaturunterschiede in den Modulen erreichen. Eine niedrige Außentemperatur ist ebenfalls hilfreich, um zu möglichst hohen und somit gut detektierbaren Temperaturgradienten zu kommen. Generell gilt für die Messung an Modulen, dass sich diese unter Last befinden. Von Modulen im Leerlauf können in der Regel kaum aussagekräftige Bilder gemacht werden. In manchen Fällen kann man aber über die zusätzliche Messung im Leerlauf oder im Kurzschluss weitere Informationen über Fehler erhalten.



Damit es nicht zu störenden Wolkenreflexionen auf dem Generator kommt, sollte bei der Messung ein Tag mit näherungsweise oder, noch besser, vollständig wolkenlosem Himmel gewählt werden. Es empfiehlt sich also, vorab Wetterprognosen einzuholen. Im Zweifelsfall können am Tag der Messung zusätzlich aktuelle Radarbilder des Wolkenzuges herangezogen werden, wie sie im Internet bei vielen Wetterdiensten zu finden sind. Damit lassen sich längere Fahrten zu Standorten vermeiden, an denen womöglich Wolken das Messergebnis verschlechtern oder gar unbrauchbar machen.

Korrekte Ausrichtung der Kamera zum PV-Modul

Bei der Messung selbst spielt die Ausrichtung der Kamera die zentrale Rolle. Prinzipiell sollte das Objektiv eigentlich möglichst senkrecht zum Modul positio-

Fortsetzung Seite 15

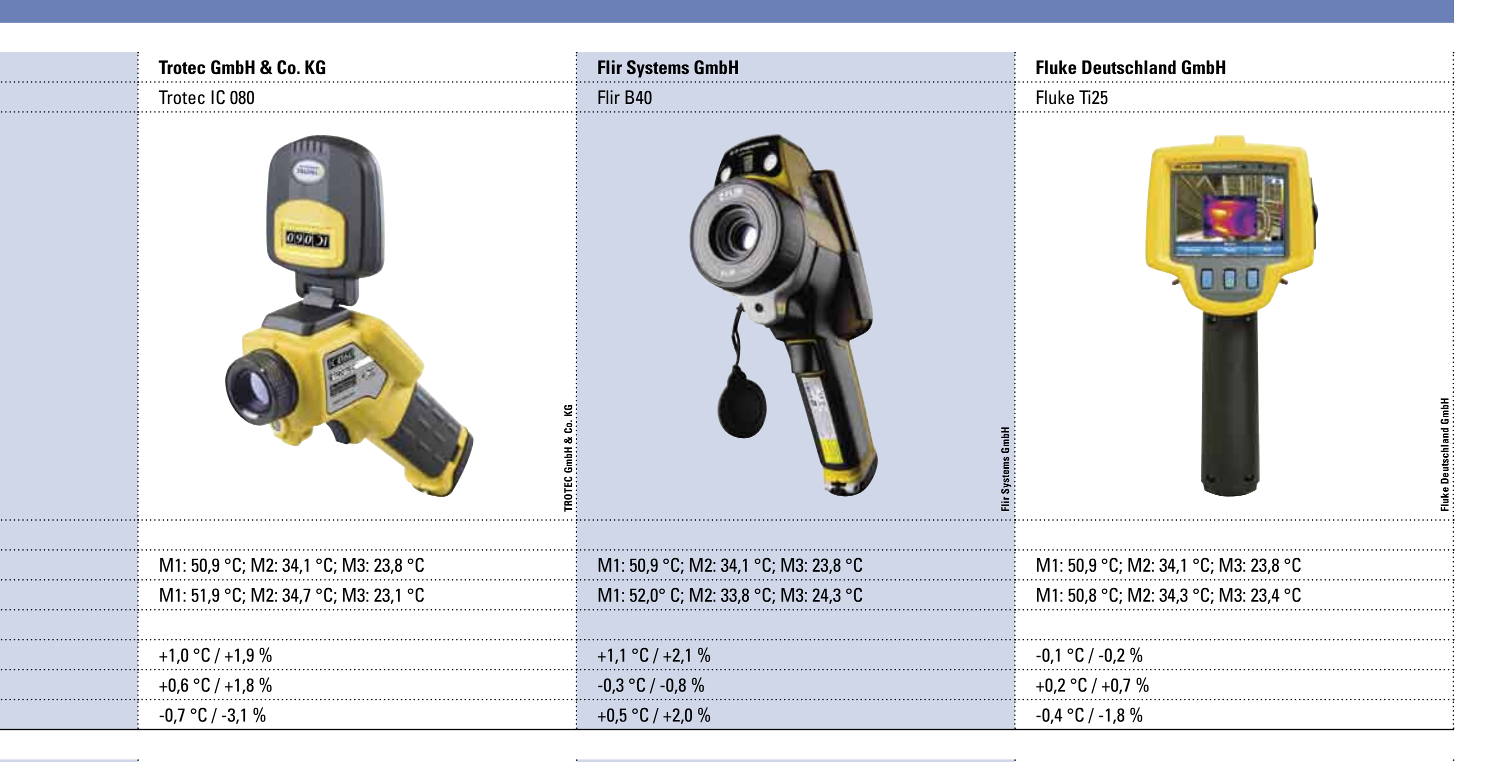
THERMOGRAFIEKAMERAS IM TEST: THERMOGRAMME IM VERGLEICH

	PCE Deutschland GmbH	Fluke Deutschland GmbH
	PCE-TC 3	Fluke TiRx Inspector
	PCE Deutschland GmbH	Fluke Deutschland GmbH
Vergleich der Genauigkeit*		
Mittelwert aller Geräte für drei Messpunkte M**	M1: 50,9 °C; M2: 34,1 °C; M3: 23,8 °C	M1: 50,9 °C; M2: 34,1 °C; M3: 23,8 °C
Messwerte der jeweiligen Kamera:	M1: 49,3 °C; M2: 33,8 °C; M3: 23,8 °C	M1: 50,1 °C; M2: 34,3 °C; M3: 23,8 °C
Abweichung vom Mittelwert absolut (in °C) u. relativ (in %)		
M1	-1,6 °C / -3,2 %	-0,8 °C / -1,6 %
M2	-0,3 °C / -0,8 %	+0,2 °C / +0,7 %
M3	-0,0 °C / -0,0 %	-0,0 °C / -0,0 %

Aufnahmen		
Aufnahmen mit jeweiliger Herstellersoftware im JPG-Format abgespeichert (bei PCE-TC 3: ursprüngliches Bitmap-Format in JPG umgewandelt)		
Aufnahmen mit jeweils höchstauflösenden Farbskalen; Temperaturskalenbereiche auf maximale Aussagekraft angepasst (alle Aufnahmen im Bitmap-Format abgespeichert)		
Nahaufnahmen eines Moduls mit einer defekten Zelle (alle Aufnahmen im Bitmap-Format abgespeichert)		
Aufnahmen eines einzelnen Moduls vor einem Generator aus 10 Meter Abstand (alle Aufnahmen im Bitmap-Format abgespeichert)		

* Die angegebenen Abweichungen jedes einzelnen Geräts vom Mittelwert aller Geräte geben nur eine grobe Orientierung; auch nimmt die Ortsauflösung gerade bei den gemessenen

** M1: heißeste Stelle auf dem Modul bzw. Thermogramm; M2: kälteste Stelle; M3: kalte Stelle außerhalb der Solarzellen (auf Alumiumträger)

	Trotec GmbH & Co. KG	**Flir Systems GmbH**	**Fluke Deutschland GmbH**
	Trotec IC 080	Flir B40	Fluke Ti25
	 TROTEC GmbH & Co. KG	Flir Systems GmbH	Fluke Deutschland GmbH
	M1: 50,9 °C; M2: 34,1 °C; M3: 23,8 °C	M1: 50,9 °C; M2: 34,1 °C; M3: 23,8 °C	M1: 50,9 °C; M2: 34,1 °C; M3: 23,8 °C
	M1: 51,9 °C; M2: 34,7 °C; M3: 23,1 °C	M1: 52,0° C; M2: 33,8 °C; M3: 24,3 °C	M1: 50,8 °C; M2: 34,3 °C; M3: 23,4 °C
	+1,0 °C / +1,9 %	+1,1 °C / +2,1 %	-0,1 °C / -0,2 %
	+0,6 °C / +1,8 %	-0,3 °C / -0,8 %	+0,2 °C / +0,7 %
	-0,7 °C / -3,1 %	+0,5 °C / +2,0 %	-0,4 °C / -1,8 %

photon-pictures.com (20)

Stellen mit hohen Gradienten starken Einfluss auf die angegebene Temperaturauflösung

THERMOGRAFIEKAMERAS IM TEST: THERMOGRAMME IM VERGLEICH (FORTSETZUNG)

	Testo AG	**Flir Systems GmbH**
	Testo 880-3 Profi-Set	Flir B250
	testo AG	Flir Systems GmbH
Vergleich der Genauigkeit*		
Mittelwert aller Geräte für drei Messpunkte M**	M1: 50,9 °C; M2: 34,1 °C; M3: 23,8 °C	M1: 50,9 °C; M2: 34,1 °C; M3: 23,8 °C
Messwerte der jeweiligen Kamera:	M1: 50,6 °C; M2: 33,7 °C; M3: 23,8 °C	M1: 51,5 °C; M2: 33,8 °C; M3: 24,5 °C
Abweichung vom Mittelwert absolut (in °C) u. relativ (in %)		
M1	-0,3 °C / -0,6 %	+0,6 °C / +1,2 %
M2	-0,4 °C / -1,1 %	-0,3 °C / -0,8 %
M3	-0,0 °C / -0,0 %	+0,7 °C / +2,8 %

Aufnahmen		
Aufnahmen mit jeweiliger Herstellersoftware im JPG-Format abgespeichert (bei PCE-TC 3: ursprüngliches Bitmap-Format in JPG umgewandelt)		
Aufnahmen mit jeweils höchstauflösenden Farbskalen; Temperaturskalenbereiche auf maximale Aussagekraft angepasst (alle Aufnahmen im Bitmap-Format abgespeichert)		
Nahaufnahmen eines Moduls mit einer defekten Zelle (alle Aufnahmen im Bitmap-Format abgespeichert)		
Aufnahmen eines einzelnen Moduls vor einem Generator aus 10 Meter Abstand (alle Aufnahmen im Bitmap-Format abgespeichert)		

photon-pictures.com (8)

* Die angegebenen Abweichungen jedes einzelnen Geräts vom Mittelwert aller Geräte geben nur eine grobe Orientierung; auch nimmt die Ortsauflösung gerade bei den gemessenen Stellen mit hohen Gradienten starken Einfluss auf die angegebene Temperaturauflösung

** M1: heißeste Stelle auf dem Modul bzw. Thermogramm; M2: kälteste Stelle; M3: kalte Stelle außerhalb der Solarzellen (auf Alumiumträger)

niert werden. Hierdurch würde die Kamera aber ihre eigenen Reflexionen und die des Messtechnikers auf den Bildern einfangen. Daher muss in der Praxis eine Position außerhalb des senkrecht über der abzubildenden Generatorfläche liegenden Bereichs gewählt werden. Der Blickwinkel der Kamera zur Normalachse, also der Senkrechten über dem Modul, sollte für optimale Aufnahmen nicht größer als 30 Grad sein, um winkelabhängige Messfehler klein zu halten. In der Realität wird man auch bis knapp 60 Grad noch Messungen vornehmen können, aber spätestens oberhalb dieses Wertes werden die Resultate unbrauchbar.

Des Weiteren sollte auch die Sonne nicht als Reflexion ins Bild kommen. Neben dem dadurch entstehenden Messfehler könnte dies im ungünstigsten Fall sogar zu Beschädigungen am Sensor der Kamera führen – selbst im ausgeschalteten Zustand, weshalb die Schutzkappe der Kamera auch beim Transport stets verwendet werden sollte. Gleichzeitig darf der Generator bei der Messung natürlich nicht durch die Kamera oder den Messtechniker verschattet werden. Auch aus diesen Gründen ist eine Messung zur Mittagszeit, bei der sich der Einstrahlungswinkel in der Nähe der Normalen des Generators befindet, von Vorteil. Dann nämlich liegen der zu meidende Eigenreflexionsbereich und der Strahlengang der Sonne weitgehend gleichauf, was dem Messtechniker mehr Platz zur Positionierung seiner Kamera lässt. Trotzdem können bei manchen Anlagen bei schlechter Positionierung auch noch Reflexionen von nahe gelegenen Gebäuden ins Bild kommen.

Sollten die hier genannten Anforderungen an die Ausrichtung der Kamera einmal nicht erfüllbar sein, gibt es oft auch die Möglichkeit, aufgeständerte Module von der Rückseite aus aufzunehmen. Hier muss dann aber ganz besonders darauf geachtet werden, nicht die Sonne ins Bild zu bekommen. Auf der Rückseite des Solargenerators können prinzipiell dieselben Schäden wie auf der Vorderseite detektiert werden. Zwar ist die Kunststofffolie auf der Rückseite eines Moduls für Infrarotstrahlung nicht transparent, doch das gilt für die Glasscheibe auf der Vorderseite genauso: Normales Glas ist im Infrarotbereich undurchlässig. Die Bilder der Kamera entstehen in beiden Fällen durch die Wärmeleitung der Folie beziehungsweise der Glasscheibe. Bei der rückseitigen Betrachtung werden auch die Bypass-Dioden in der Anschlussdose sichtbar, die allerdings wegen der Wärmeleitung meist auch auf der Vorderseite noch gut erkennbar sind.

Erläuterungen zur Tabelle »Thermogramme im Vergleich«

Die Bilder in der Tabelle ab Seite 12 sind alle mithilfe der jeweiligen Software erstellt worden; sie geben also keine direkte Information über die Auflösungsfähigkeit des optischen Systems der Kamera (Linsen und Sensor), sondern über die Leitungsfähigkeit des Gesamtsystems aus Kamera plus Software.

Die Aufnahmen in den ersten beiden Bilderzeilen wurden im PHOTON-Labor in einem Dunkelraum von einem mit doppeltem Kurzschlussstrom konstant bestromten defekten Modul gemacht (siehe Artikel). Damit waren auf den Bildern konstante Wärmeprofile reproduzierbar und somit für alle Geräte gleiche Bedingungen gegeben.

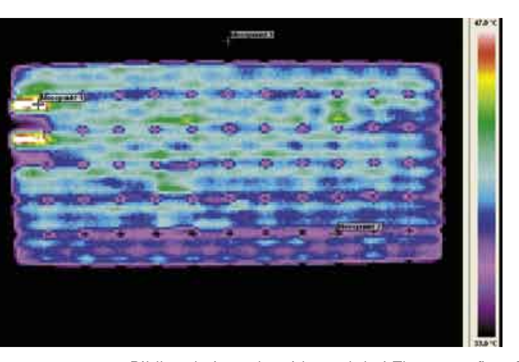
Bei den Aufnahmen in der ersten Zeile wurden zum besseren Vergleich ähnliche Farbskalen (»Eisen«) verwendet, die aber nicht völlig identisch sein können. Die Bilder werden von den Geräten und der jeweiligen Bearbeitungssoftware unterschiedlich stark interpoliert, was die Qualität der Aufnahmen stark beeinflusst.

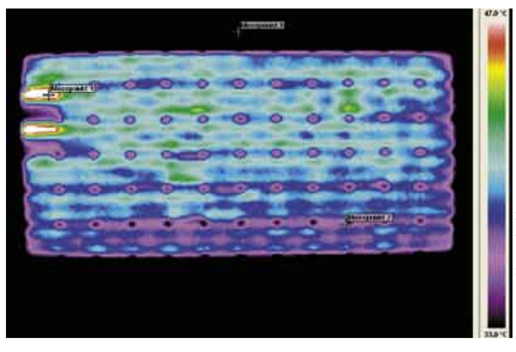
Die zweite Zeile zeigt dasselbe Bild mit einer maximal auflösenden Farbskala. Auch die Temperaturskalenbereiche wurden auf maximale Aussagekraft hin angepasst. Die stärkere Erwärmung des Moduls im oberen Bereich ist nicht auf einen Fehler, sondern auf die senkrechte Positionierung zurückzuführen: Die Wärme steigt durch Luftkonvektion am Modul entlang auf und erwärmt dieses im oberen Bereich.

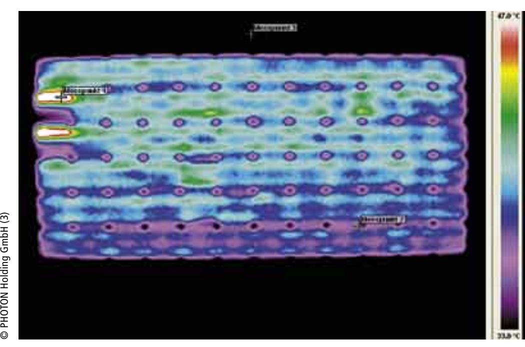
In den weiteren Zeilen sind die Bilder aus dem Praxistest an einer Freiflächenanlage nebeneinandergestellt: Die Fotos in der dritten Zeile sind Nahaufnahmen eines kurzgeschlossenen Moduls mit einer defekten Zelle, die Aufnahmen in Zeile vier zeigen dasselbe Modul und zum Vergleich weitere (intakte) Module eines Solargenerators. Die dabei jeweils verwendeten Temperaturskalenbereiche wurden soweit möglich angepasst, um bei allen Bildern einen möglichst einheitlichen Eindruck zu erzeugen.

Abstand der Kamera vom Modul

Bei den hier behandelten Kameras lassen sich wegen der eher geringen Auflösung bei der Aufnahme eines Generators nur noch Auffälligkeiten in der Größenordnung ganzer Zellen beobachten. Wie groß der Abstand von den Modulen hierbei sein muss, kann man ausrechnen, wenn Zellgröße, Kameraauflösung, Blickwinkel und Gesichtsfeld des Objektives bekannt sind. In der Regel ist aber der Abstand, den man zu den Modulen einnehmen kann, durch die bereits genannten Anforderungen hinsichtlich des Blickwinkels schon eingeschränkt. Gerade bei Aufdachanlagen kommen dann meist noch weitere Einschränkungen hinzu, zum Beispiel durch einen vorgegebe-







© PHOTON Holding GmbH (3)

▲ Bildbearbeitung bewirkt auch bei Thermografieaufnahmen Wunder: dreimal dieselbe Aufnahme mit unterschiedlich starker Interpolation der Daten (aufgenommen und bearbeitet mit Kamera und Software der PCE GmbH)

nen Standort auf einem Nachbardach, einer Leiter oder, im besten Fall, einer Hebebühne. Deshalb sind Kameras mit wechselbaren Objektiven klar im Vorteil, da man hier das gewünschte Gesichtsfeld und damit die erforderliche Auflösung auch bei ungünstigen Abständen erreichen kann. Bei den im Test vertretenen Kameras ist, wenn es sich einrichten lässt, ein Abstand von zwei bis fünf Metern zu den Modulen sinnvoll.

Interpretation der Aufnahmen

Auch bei der Interpretation von Infrarotaufnahmen ist Erfahrung gefragt. Auffällig heiße Zellen müssen nicht gleich auf einen Defekt hinweisen. Auf jeden

PCE Deutschland GmbH

PCE-TC 3

Die erste Kamera im Testfeld ist gleichzeitig die günstigste. Trotzdem hat sie alle wichtigen Funktionen und zeigt auch beim Lieferumfang keine Schwächen. Abstriche gibt es nur bei weniger bedeutsamen Details wie etwa der Schutzkappe des Objektivs, die etwas kompliziert zu handhaben ist und verloren gehen kann. Auch die mit einem Clip befestigte Handschlaufe ist nicht sehr vertrauenerweckend. Aber am Ende überwiegen auch in den Details des Lieferumfangs die positiven Punkte, wie der wertige Transportkoffer, die verschiedenen länderspezifischen Netzteiladapter und die zusätzliche Geräteschutzhülle aus Gummi. Ein USB-Kabel und ein SD-Kartenlesegerät bilden die möglichen Schnittstellen für die Bilderübertragung zum PC. Das mitgelieferte Programm »PCE-TC Series Imager« auf CD lässt ebenfalls keine Wünsche offen.

Bedienungsanleitung und Schulungen
Die Bedienungsanleitung behandelt sowohl die Funktionen der Kamera als auch der zugehörigen Bildbearbeitungssoftware. Diese wird anhand vieler Screenshots erklärt und hat lediglich in der Auflösung einiger Screenshots Mängel, nicht aber im Inhalt. Beide Teile sind gut strukturiert und mit vielen hilfreichen Beispielen versehen. Schulungen werden von der Herstellerfirma nicht angeboten, was etwas schade ist, denn auch wenn sie für die Kamera selbst nicht nötig wären, sind sie es doch für den prinzipiellen Umgang mit dieser Art von Messtechnik.

Anzeige- und Bedienelemente
Bei einer Einschaltzeit von gemessenen 38 Sekunden muss man sich etwas gedulden, bevor man loslegen kann. Die LCD-Anzeige des Gerätes ist ausreichend groß, muss aber bei starker Einstrahlung von Hand abgeschattet werden. Auf ihr wird stets eine gut ausgewogene Menge an Informationen dargestellt. Die Multifunktionstasten führen sehr leicht nachvollziehbar durch das Menü, sodass man die meisten Funktionen auch ohne Zuhilfenahme der Bedienungsanleitung findet und versteht. Weniger leicht ist allerdings deren Betätigung, da alle Tasten, besonders die des Positionierungslasers im Pistolengriff, etwas schwergängig sind.

Funktionsumfang und Bildleistung
Der Funktionsumfang lässt gerade in diesem Preissegment kaum Wünsche offen. Die Bildauflösung im Nahbereich macht dank der hohen Interpolation mit den besten Eindruck, bei über zehn Meter großen Abständen zum Messobjekt lässt sie aber stark nach, und einzelne Zellen sind nur noch schwer auflösbar.

Bildbearbeitungs- und Auswertesoftware
Angenehm ist es hier, schon beim Öffnen der Dateien eine Vorschau aller Bilder zu bekommen, an der man sich orientieren kann. Auch alle weiteren Funktionen sind trotz des großen Umfangs sehr übersichtlich sortiert, leicht zu finden und zu bedienen. Das automatische Setzen der Warm- und Kaltpunkte funktioniert im Gegensatz zu anderen Geräten problemlos. Auch die Darstellung des einstellbaren Spektrums und der Profile ist gut aufbereitet. Des Weiteren finden sich Isothermen, eine Bereichswahl, Messpunktliste und Zoomfunktion. Bei keinem anderen Programm zu finden ist die Möglichkeit, den Grad der Interpolation einzustellen. Exportieren kann das Programm die Bilddateien ins Bitmap-Format oder als Zahlenmatrix in eine Excel-Tabelle.

PCE Deutschland GmbH

Fazit
Diese Kamera ist in der unteren Preiskategorie unser Testsieger und in Sachen Preis-Leistungs-Verhältnis ungeschlagen. Um auch den dreimal so teuren Kameras aus dem hier vorgestellten oberen Preissegment Konkurrenz machen zu können, fehlen dem Gerät aber in erster Linie noch die Bildleistung bei größeren Abständen und die Digitalkamerafunktion. Auch optionale Wechselobjektive sowie ein Schulungsangebot seitens des Anbieters würde man hier erwarten.

Preis (netto): 2.475 Euro;
Kalibrierung (bei Erstbestellung): 1.130 Euro
Technische Daten: Tabelle Seite 12 und 32
www.pce-group-europe.com

Fluke Deutschland GmbH

Fluke TiRx Inspector

Etwas teurer als die PCE-TC 3 ist die TiRx Inspector, das gerade erst am Markt erschienene Einsteigermodell von Fluke. Die Kamera ist vom Funktionsumfang her sehr einfach gehalten, hat aber die Besonderheit, nachträglich aufrüstbar zu sein zu einer TiR mit Digitalkamera und Bildfusion. Kleine, aber schöne Details an der Kamera sind die Objektivabdeckung, die sich hochklappen lässt und so weder im Bild baumelt noch verloren gehen kann, genauso wie der wertige Handriemen, der sich für Links- und Rechtshänder montieren lässt. Der Lieferumfang umfasst alle üblichen Accessoires: Netzadapter, Ladegerät, Akku, Benutzerhandbücher sowie die Auswertesoftware »Smart View 2.1« auf CD finden in einem Kunststoffkoffer Platz. Dieser selbst ist aber etwas weniger wertig ausgeführt als die Koffer der Konkurrenzprodukte. Zwar ist er für die normale Verwendung ausreichend robust und auch passabel gepolstert, wenn man aber nicht ordentlich packt, deformiert man bereits die verhältnismäßig dünne Außenschale, wodurch ein dichter Abschluss des Deckels verhindert wird. An dieser Stelle sei aber noch erwähnt: Der Hersteller garantiert, dass seine robust erscheinenden Geräte eine Fallhöhe von bis zu zwei Metern überstehen. Vielleicht wurde der Koffer deshalb einfacher gehalten.

Fluke Deutschland GmbH

Bedienungsanleitung und Schulungen

Die Bedienungsanleitung ist mit insgesamt 28 Seiten verhältnismäßig kurz, insbesondere da hierin gleich sechs ähnliche Modelle parallel beschrieben werden. Auch wäre sie sicher noch um ein paar mehr erklärende Bilder erweiterungsfähig gewesen, am Ende erfüllt sie aber ihren Zweck. Sehr positiv ist auf der anderen Seite das extrem umfangreiche Schulungsangebot allein im Bereich der Thermografie. Die verschiedenen Seminare sind auf der Homepage des Herstellers unter dem Menüpunkt »Veranstaltungen« detailliert beschrieben.

Anzeige- und Bedienelemente

Mit einer Einschaltzeit von 13 Sekunden ist die Kamera schnell bereit. Das Display ist groß und auch ohne einen zusätzlichen Schirm gut lesbar. Neben der Bildauslösung am Pistolengriff hat die Kamera noch drei Multifunktionstasten. Wer hier erwartet, damit dem Funktionsumfang nicht Herr werden zu können, irrt, denn dieser ist sehr überschaubar. Bei der Bedienung selbst liegt das Gerät angenehm in der Hand.

Funktionsumfang und Bildleistung

Der Funktionsumfang ist hier schon sehr spärlich und beschränkt sich im Grunde nur auf das Bilderschießen. Selbst fundamentale Größen wie der Emissionsgrad lassen sich erst im Bearbeitungsprogramm einstellen. Die Bildleistung ist prinzipiell gut, bei Abständen von mehr als zehn Metern stößt man allerdings bei der Auflösung von einzelnen Zellen an die Grenzen des Geräts.

Bildbearbeitungs- und Auswertesoftware

Beim Öffnen der Bilder wird leider keine Bildervorschau angeboten, aber es lassen sich mehrere Bilder gleichzeitig öffnen, was die Suche nach dem richtigen Thermogramm wieder erleichtert. Für die Bearbeitung öffnet sich ein zusätzliches Fenster, dessen umfangreiche Funktionen weitgehend selbsterklärend sind. Manche Einstellmöglichkeiten wie Abstand und Feuchte sucht man allerdings vergebens. Auch die automatisch setzbaren Markierungen für den heißesten und kältesten Punkt finden ihr Ziel nicht, und das darstellbare Histogramm ist relativ grob. Positiv ist die große Anzahl an Formaten, in die man die Bilder exportieren kann: Bitmap, JPG, GIF, PNG, Tiff. Hierbei lassen sich die Bilder nach Wunsch auch als radiometrische Bitmap mit allen Temperaturinformationen oder ohne diese speichern.

Fazit

Eine schöne Idee des Herstellers ist die Upgrade-Option, auf die man aber eventuell schnell zurückkommen muss, da das Gerät sonst ohne Laser und Kamera keine Positionierungshilfe besitzt. Trotz des soliden und durchdachten Aufbaus, des in diesem Preissegment wertigsten Eindrucks des Gerätes und des brauchbaren Programms bleibt die Kamera aber bei zu vielen Funktionen hinter seinen Konkurrenten zurück.

Preis (netto): 2.995 Euro; Kalibrierung: k. A.
Technische Daten: Tabelle Seite 12 und 29
www.fluke.de

Fall sind Module mit auffälligen Temperaturbildern aber einer Sichtprüfung zu unterziehen, bei der viele Schäden genauer diagnostiziert werden können. Oft wird man allerdings um eine deutlich umständlichere Kennlinienmessung nicht herumkommen. Dabei können wiederum Module mit auffälligen Thermografien völlig normale Ergebnisse liefern. Vorsicht ist dann trotzdem geboten, denn Auffälligkeiten im Infrarotbereich können immer auch als Warnung vor zukünftigen Ausfällen interpretiert werden: Ein thermisch überlasteter Kontakt beispielsweise kann im Moment der Aufnahme noch funktionieren, weist aber ein deutlich erhöhtes Risiko auf, sich demnächst zu lösen. Solche Beobachtungen an einer im Betrieb befindlichen Anlage sind mit keinem anderen Messverfahren möglich. Und je mehr Umgang man mit Thermografiebildern hat, desto einfacher fällt die Beurteilung. Völlig ersetzen kann eine Infrarotkamera Sichtprüfungen und Kennlinienmessungen zwar nie, aber sie hilft, deren Anzahl durch eine Vorauswahl deutlich zu reduzieren.

Marktübersicht und Testbericht

Die Anzahl an heute auf dem Markt verfügbaren Thermografiekameras ist enorm, was vor allem an den vielen unterschiedlichen Anwendungsgebieten liegt. Diese reichen von der Forschung beispielsweise im Bereich der Materialkunde über Qualitätssicherung und Kontrolle bei mechanischen und elektrischen Maschinen bis in die Energieberatung bei der Bauthermografie. Hierbei den Überblick zu behalten und Kameras zu finden, die für den noch jungen Bereich der Überprüfung photovoltaischer Anlagen geeignet sind, ist nicht einfach.

Für die spezielle Anwendung der Thermografie in der Photovoltaik existieren noch keine spezialisierten Gerä-

Trotec GmbH & Co. KG

Trotec IC 080 (IC 060)

Ebenfalls noch im untersten Preissegment findet sich die IC 080 von Trotec. Mit dem Modell IC 060 bietet dieser Hersteller sogar eine noch etwas günstigere Variante, die für den Einsatz bei Solarinstallateuren ebenfalls sehr gut geeignet ist und sich von der IC 080 lediglich durch den kleineren, aber immer noch ausreichenden Temperaturbereich unterscheidet. Alle anderen technischen Daten (siehe Tabelle Seite 34) sind identisch. Bemerkenswert und ungewöhnlich in dieser Preiskategorie ist die Möglichkeit zum Einsatz von Wechselobjektiven, die aber optionales Zubehör sind, das dem getesteten Gerät nicht beiliegt. Im Gegensatz zu den beiden vorher genannten Kameras hat die IC 080 ein ausklappbares Display, das dafür aber etwas kleiner ist als bei den Konkurrenzmodellen. Am relativ dicken Griff hängt eine Handschlaufe, und die Objektivabdeckung ist mit einem Stück Schnur an diesem gegen Verlust gesichert. Obwohl auch andere Hersteller diese Lösung verwenden, ist sie nicht besonders glücklich, da die Abdeckung bei Aufnahmen von oben so immer im Blickfeld des Objektivs baumelt. Die restliche Ausstattung und der Lieferumfang sind ähnlich. Auch hier finden sich Batterieladegerät, Akku, Videokabel, USB-Kabel für den Bilderdownload auf den PC, Bedienungsanleitungen, ein Prüfzertifikat und die PC-Software in einem soliden Transportkoffer ähnlich dem des Gerätes von PCE. Für den Koffer gibt es auch noch einen praktischen Schultergurt.

Bedienungsanleitung und Schulungen

Bedienungsanleitungen bringt die Kamera gleich vier mit: Eine einseitige Kurzeinweisung, eine Schnellbedienungsanleitung, die die Funktionstasten erklärt, und jeweils eine recht einfach gehaltene Anleitung für das Gerät und die Auswertesoftware. Für tiefere Einblicke werden monatlich Tagesseminare zu den Basisthemenbereichen angeboten, zusätzlich können auch weiterführende Schulungen vermittelt werden.

Anzeige- und Bedienelemente

In einer durchschnittlichen Zeit von 25 Sekunden ist das Gerät startbereit. Auf dem zwar recht kleinen Display ist dann aber auch ohne Schirm genug zu erkennen. Im Bild wird zwar ein Balken als Temperaturskala angezeigt, der aber wenig Sinn hat, da an ihm nicht einmal die Endwerte angegeben sind. Zur Bedienung stehen mehrere Tasten und ein Richtungskreuz gut erreichbar bereit. Um damit dem etwas rustikalen Menü folgen zu können, bedarf es aber ein bisschen mehr Einarbeitungszeit oder der Zuhilfenahme der Anleitung. Die Fokussierung erfolgt wie bei allen Geräten in der Preisklasse manuell am drehbaren Objektiv, das in diesem Fall allerdings etwas schwergängig ist.

Funktionsumfang und Bildleistung

Der Funktionsumfang ist gut, wenn man sich erst einmal in ihm zurechtgefunden hat. Die Bildleistung ist auch bei größerer Entfernung von über zehn Metern noch so gut, dass einzelne Konturen der Zellen erkennbar sind. Nur an die Leistung der teuersten Geräte im Test kommt das Gerät ohne die zusätzlichen Objektive nicht heran.

Bildbearbeitungs- und Auswertesoftware

Der mitgelieferte »IC Report« soll eine Mischung aus einem Bildbearbeitungs- und Berichterstellungsprogramm sein. Allerdings erfüllt er beide Aufgaben nur mäßig befriedigend beziehungsweise ist in der Bedienung schwerfällig. Schon allein ein Bild in dem Bericht zu öffnen gelingt ohne Anleitung erst nach ein paar Versuchen, für alle weiteren Funktionen sollte man diese am besten gar nicht zur Seite legen. Beim Setzen von Markierungen im Bild oder dem manuellen Suchen von Hotspots ist es nicht möglich, gleichzeitig die Temperaturwerte unter dem Cursor anzeigen zu lassen und diesen zu verschieben. Das punktgenaue Setzen der Markierungen wird dadurch schwierig.

TROTEC GmbH & Co. KG

Fazit

Ein Gerät mit einem sehr zwiespältigen Gesamteindruck. Auf der einen Seite stehen die beste Bildqualität in diesem Preissegment, gute Hardware und breiter Funktionsumfang – und nicht zu vergessen die in unserem Anwendungsgebiet sehr interessante Option für Wechselobjektive. Auf der anderen Seite muss man sich dafür aber mit Softwarelösungen sowohl in der Kamera als auch später bei der Auswertung auseinandersetzen, die bedienerfreundlicher sein könnten. Da man sich aber ohnehin genauer mit dieser Messtechnik beschäftigen muss, wird diese Schwäche mit der Zeit sicher in den Hintergrund treten.

Preis (netto): 3.295 Euro; Kalibrierung: k. A.
Technische Daten: Tabelle Seite 13 und 34
www.trotec24.com

te, da der Markt hierfür einfach noch zu klein ist. Es lassen sich aber ohne Weiteres Geräte verwenden, die für die Thermografie in der Elektrotechnik konzipiert sind. Dies kann zudem allen Solarteuren, die auch in der normalen Elektrotechnik aktiv sind, die Kaufentscheidung erleichtern: Sie können das teure Gerät eventuell auch bei anderen Arbeiten verwenden.

Einen ähnlichen Doppelnutzen kann man mit Geräten aus der Gebäudethermografie erreichen. Diese haben meist einen etwas niedrigeren Temperaturbereich, der aber für Messungen in der Photovoltaik noch völlig ausreicht. Zusätzlich findet man hier in der Regel Feuchtigkeitssensoren, mit denen die Geräte direkt vor der Überschreitung der Kondensationsschwelle in Gebäuden warnen. Für denjenigen also, der neben der Installation von Solarstromanlagen auch im Bereich Energieberatung aktiv ist, sind diese Geräte ganz klar zu bevorzugen.

Ein Punkt, den man bei der Auswahl des geeigneten Geräts unbedingt berücksichtigen sollte, ist auch die Orientierungshilfe: Die meisten Thermografiekameras besitzen verschiedene Optionen, um dem Benutzer die Orientierung auf dem in dieser Preiskategorie nur gering auflösenden Wärmebild zu erleichtern. Eine Möglichkeit hierzu ist ein Laserstrahl, der den gerade in der Mitte des Wärmebildes befindlichen Punkt markiert. Besser noch sind Geräte, die parallel zum Wärmebild auch ein reales Digitalfoto schießen und dann beide Aufnahmen übereinanderlegen. Diese zweite Variante ist schon deshalb überlegen, weil die Lichtintensität der Laser wegen der hohen Einstrahlungen, bei denen gemessen wird, meist nicht ausreicht, um einen sichtbaren Punkt zu erzeugen.

Hohe Umgebungshelligkeit ist auch für die Displays der meisten Geräte ein Problem. Ein optionaler Schirm zur Beschattung schafft deshalb in Sachen Ablesbarkeit klare Vorteile.

Erläuterungen zur Auswahl

Es gibt natürlich noch einige weitere Anforderungen in Sachen Ausstattung und technische Daten, die eine Kamera für den Einsatz durch Solarinstallateure tunlichst erfüllen sollte und die wir deshalb auch zur Grundlage für unsere Auswahl gemacht haben (siehe Tabelle Seite 10).

Zunächst muss eine Kamera für den Einsatz an Photovoltaikanlagen natürlich tragbar sein und sollte der Handhabbarkeit wegen auch nicht mehr als 1,5 Kilogramm wiegen. Diese Eigenschaften sollten mit einem möglichst erschwinglichen Preisrahmen einhergehen. Die hierfür festgelegte Obergrenze von 10.000 Euro mag immer noch hoch erscheinen, stellt aber das untere Preissegment der portablen Thermografiekameras dar.

Gleichzeitig wurde darauf geachtet, dass die Kameras trotz eines relativ niedrigen Preises eine Detektorauflösung von mindestens 120 mal 120 Pixel mitbringen. Das ist zunächst einmal wichtig, um beim Blick über den kompletten Generator größere Schäden an ganzen Zellen lokalisieren zu können. Weiterhin sind so aber auch noch kleine Defekte wie einzelne Zellrisse oder -brüche im Größenbereich von ein bis drei Zentimetern sichtbar, wenn ein einzelnes Modul aufgenommen wird. Mit den bei den meisten aufgeführten Kameras verwendeten 160-mal-120-Pixel-Detektoren lassen sich hierbei auch größere Module mit Abmessungen von ungefähr 160 mal 90 Zentimetern mit einer Auflösung von rund einem Zentimeter aufnehmen. Realistisch ist allerdings eher, eine Auflösung von drei Zentimetern anzunehmen, weil verschiedene Faktoren den idealen Wert verschlechtern. Detektoren mit deutlich weniger als den besagten 160 mal 120 Pixeln würden es deshalb nötig machen, große Module mit mehreren Aufnahmen abzufahren, um die gewünschte Auflösung zu erreichen.

Als Objektive kommen mit Ausnahme von Weitwinkelobjektiven alle Varianten infrage. Das Gesichtsfeld sollte also kleiner sein als 35 Grad, möglichst sogar nicht größer als 30 Grad, um noch ausreichende Auflösungen von Detailaufnahmen zu erreichen. Ideal sind Kameras mit Normal-

Flir Systems GmbH

Flir B40 (I40)

Auch die B40 von Flir hat mit der I40 ein sehr eng verwandtes Schwestermodell, das ebenfalls sehr gut in das Anforderungsspektrum von Solarteuren passt. Die B40 ist eigentlich für Bauthermografie gedacht; anstelle des erweiterten Temperaturbereichs der I40 besitzt sie einen Feuchtesensor und Taupunktalarm. Bei diesem Gerät merkt man an vielen Punkten, dass man sich bereits in einer höheren Preiskategorie bewegt. Das Manko der vor dem Objektiv baumelnden Schutzkappe findet sich allerdings leider auch hier. Beim Lieferumfang gibt es zwar keine prinzipiellen Unterschiede zu den bereits vorgestellten Geräten, aber die einzelnen Teile erfüllen meist höhere Ansprüche an die Qualität. Ein Beispiel, auch wenn es sich nur um einen Cent-Artikel handelt, ist eine wirklich ordentliche Handschlaufe.

Bedienungsanleitung und Schulungen

Bei der Bedienungsanleitung bleiben keine Wünsche offen, was sich in einem Umfang von 236 Seiten niederschlägt. Zustande kommt der große Umfang durch detaillierte beispielhafte Anwendungsbeschreibungen und Zusatzinformationen für Interessierte, beispielsweise zu dem geschichtlichen Hintergrund und zu den physikalischen Grundlagen der Thermografie. Damit nicht genug, kommt noch eine 88-seitige Anleitung für das Bearbeitungsprogramm hinzu. Seminare bietet die Firma selbstverständlich auch an, Informationen hierzu bietet eine eigens eingerichtete Internetseite (www.thermografie-seminare.de).

Anzeige- und Bedienelemente

Mit einer Einschaltzeit von nur sechs Sekunden ist man hier auf jeden Fall der Erste. Was darauf folgt, beweist ähnlich viel Liebe zum Detail wie die Anleitung. Auf der sehr großen, gut aufgelösten Anzeige tut sich ein sehr intuitiv bedienbares Menü auf, das auch noch durch grafische Elemente sehr effektiv unterstützt wird. In der Ansicht der bereits erstellten Aufnahmen lassen sich zum Beispiel neun Bilder gleichzeitig inklusive Beschreibungen und weiterer Anzeigen betrachten. Im realen Einsatz unter hoher Einstrahlung schwächelt die Anzeige aber leider etwas im Kontrast. Die Bedienung erfolgt unkompliziert und direkt über den Pistolengriff, die Menüführung über ein gut zu erreichendes Steuerkreuz. Verwirrend ist nur, dass es zwar einen Knopf für den Laser gibt, nach dessen Betätigung aber nur die Anzeige erscheint, dass diese Funktion für das Modell B40 nicht unterstützt wird.

Flir Systems GmbH

Funktionsumfang und Bildleistung

Wie zu erwarten, ist der Funktionsumfang groß, zu den üblichen Möglichkeiten verfügt die Kamera auch noch über eine Zusatzlampe für Aufnahmen im Dunklen und eine normale Digitalkamera. Der geometrische Abgleich der beiden Kameras funktioniert dabei sehr gut, sodass man bei den verschiedenen Überlagerungsmöglichkeiten des realen und des Thermografiebildes problemlos beide einander zuordnen kann. Eine gute Idee ist es auch, dass die Bilder direkt von der Kamera im JPG-Format gespeichert werden können und diese auf Wunsch auch gleich auf einen USB-Stick. Damit sind die Bilder schnellstmöglich auf den PC zu übertragen und von jedem normalen Programm zu öffnen. Bei der Bildleistung hat allerdings auch diese Kamera Defizite, wenn einzelne Zellen in einem Abstand von mehr als zehn Metern aufgelöst werden sollen. Bei der Schärfeeinstellung kommt man hier zu früh an den Anschlag. Schließlich ist in dieser Kamera auch der kleinste Sensor von allen getesteten Modellen verbaut.

Bildbearbeitungs- und Auswertesoftware

Bei der Installation des Flir »Quickreport 1.1« erhält man vom Computer möglicherweise die Meldung, dass von der Fortsetzung der Installation abgeraten wird, weil das Programm keine Zertifizierung auf Verträglichkeit mit dem Betriebssystem Windows besitzt. Ist man aber bereit, diese Warnung zu übergehen, öffnet sich ein umfangreiches Programm zur Bildbearbeitung und Berichterstellung, mit Bildervorschau und auch sonst fast allen Funktionen. Einzig die automatische Suche nach heißen und kalten Stellen konnte nicht gefunden werden.

Fazit

Die Kamera ist bei Vor- und Nachteilen eine Art Gegenmodell zur Trotec IC 080. Während sie in der Bedienbarkeit und allen Zusatzoptionen ganz groß ist, hat sie bei der Bildaufnahme im realen Einsatz ein paar Defizite. In der Summe wird sie ihrem höheren Preis aber gerecht.

Preis (netto): 4.595 Euro; Kalibrierung: k. A.
Technische Daten: Tabelle Seite 13 und 25
www.flir.de

Flir Systems GmbH

Flir B250

Das zweite Gerät von Flir im Testfeld, die B250, hat mit der B200 ein etwas preiswerteres Schwestermodell. Die teurere Version besitzt einige Zusatzfunktionen, die aber im Test nicht zum Tragen kamen; insofern gilt die folgende Beschreibung auch für die B200. Flir verfolgt mit diesen Modellen ein vollständig anderes Gehäusekonzept als die übrigen getesteten Kameras. Objektiv und Display sind hier nicht hintereinander, sondern nebeneinander angeordnet und in vier Schritten um insgesamt 120 Grad gegeneinander drehbar. Dadurch kann man zum Beispiel bei der rückseitigen Betrachtung eines niedrig aufgeständerten Moduls dieses aufnehmen und gleichzeitig den Bildschirm im Auge behalten, ohne sich dazu auf den Boden begeben zu müssen, was bei den anderen Geräten der Fall wäre. Liebe zum Detail setzt sich bei diesem Gerät in fast allen Bereichen durch, der Lieferumfang ist der Preisklasse entsprechend ausführlich und hochwertig, vor allem gehören drei Objektive dazu. Ein wunder Punkt ist einzig die nicht ganz zuverlässige Einrastung des Akkus und der Akkuklappe: Unter sehr ungünstigen Bedingungen ist ein Herausfallen des Akkus denkbar.

Bedienungsanleitung und Schulungen

In der Bedienungsanleitung bleibt, wie schon beim Modell B40 (siehe Seite 20), keine Frage unbeantwortet, was bei einem Umfang von 306 Seiten plus 88 für die Software nicht verwundert. Über Seminarangebote informiert auch hier die firmeneigene Homepage (www.thermografie-seminare.de).

Anzeige- und Bedienelemente

35 Sekunden muss man sich gedulden, bis die Kamera hochgefahren ist. Bei hoher Einstrahlung ist die Anzeige dann mittelmäßig gut ablesbar, daher sollte man hier zum mitgelieferten Schirm greifen. Dann nämlich wird sie zu der am besten ablesbaren im gesamten Testfeld. Auf dem gut auflösenden Touchscreen findet sich ein sehr umfangreiches Funktionsmenü, das allerdings dadurch Verwirrung stiftet, dass es in zwei verschiedene Menüs mit unterschiedlichen Layouts aufgeteilt ist. Hier steht man am Anfang mitunter vor der Frage, in welchem der beiden Menüs man nach einer Funktion suchen soll. Auch der Umgang mit dem für einige Display-Funktionen vorgesehenen, im Gerät steckenden Stift will erlernt sein, denn nur ein Teil der Funktionen ist für diese Art der Bedienung freigeschaltet. Vieles muss man dann doch über die Tasten und einen kleinen Joystick ansteuern. Richtig zum Einsatz kommt der Touchscreen bei der Analyse der Bilder. Was die B250 hier bereits direkt in der Kamera ermöglicht, übersteigt sogar die Fähigkeiten mancher Auswerteprogramme am PC. Zum Beispiel können mit dem Stift Markierungen im Bild vorgenommen oder Rahmen aufgezogen und verschoben werden.

Funktionsumfang und Bildleistung

Die Anzahl der möglichen Funktionen übertrifft die aller anderen Geräte, einzig die Fusionsfunktion zum Verschmelzen des Normalbildes mit dem Thermogramm sucht man vergebens. Zum Gerät gehört neben Normal- und Teleobjektiv noch ein Weitwinkelobjektiv, das aber im Solarteuralltag eher selten zum Einsatz kommen dürfte. Ein sehr angenehm auffallender Unterschied zur Konkurrenz ist, dass es einen Autofokus gibt und damit die Handbedienung des Objektivs wegfällt. Ansonsten besitzt die Kamera auch noch alle praktischen Besonderheiten, die auch schon das kleine Modell B40 von Flir auszeichnen, wie zum Beispiel die Möglichkeit zur direkten Speicherung von JPG-Dateien auf einem USB-Stick. Bei der Bildleistung liegt das Gerät unter allen Testkandidaten deutlich vorn, weil es einen etwas höher auflösenden Sensor hat.

Bildbearbeitungs- und Auswertesoftware

Die Bearbeitungs- und Auswertesoftware ist der »Quickreport 1.1«, der auch beim Modell B40 (siehe Seite 20) Verwendung findet. In dieser Preisklasse hätte man hier eventuell etwas mehr erwarten können.

Fazit

Die Flir B250 ist ein Gerät, wie man es in dieser Preisklasse erwartet und weist einen beeindruckenden, wenn auch noch nicht vollends lückenlosen Funktionsumfang auf. Bei der Grundkonzeption wagt der Hersteller viele eigene Wege, die aber zum Beispiel bei der Menüführung nicht immer ganz überzeugen.

Preis (netto): 9.950 Euro; Kalibrierung: k. A.
Technische Daten: Tabelle Seite 14 und 25
www.flir.de

Flir Systems GmbH

bis Teleobjektiven, also Gesichtsfeldern zwischen ungefähr 10 und 20 Grad. Einen guten Kompromiss bilden Objektive mit etwa 15 Grad. Sie ermöglichen sowohl den schnellen Überblick über ganze Generatoren beim Kameraschwenk aus größerer Entfernung als auch die bequeme Detailbetrachtung einzelner Module aus Abständen von etwa 1,5 Metern. Von großem Vorteil sind Kameras mit Wechselobjektiven, die in dieser Preisklasse aber eher selten sind. Zusätzliche Objektive schlagen wegen der hier verwendeten speziellen infrarottransparenten Materialien deutlich beim Preis zu Buche.

Neben diesen rein technischen Anforderungen spielen bei der Auswahl auch noch andere Gesichtspunkte eine Rolle. Für den späteren Einsatz hat vor allem bei Einsteigern das Serviceangebot des Herstellers, also beispielsweise Schulungen oder schnelle Reparaturabwicklung ohne Sprachbarrieren, eine große Bedeutung. Daher wurden in der Marktübersicht primär Firmen mit Niederlassungen in Deutschland berücksichtigt.

Ablauf des Tests

Der Test der Kameras ist in zwei Teile untergliedert. Ein Labortest soll einen möglichst fairen Vergleich vor allem der realen Auflösungsfähigkeiten der Kameras liefern. Die hierbei erzeugten Thermografieaufnahmen sind daher zum direkten Vergleich in einer Tabelle zusammengefasst. Im zusätzlichen Praxistest liegt der Schwerpunkt auf Handhabbarkeit und Anwenderfreundlichkeit von Kamera und zugehöriger Software. Zusätzlich zum Labortest wurden die Geräte auch noch an einer realen Freiflächenanlage erprobt, um zum Beispiel die Verständlichkeit und Erreichbarkeit der Bedienelemente oder die Ablesbarkeit der Anzeigeelemente unter Tageslichtbedingungen bewerten zu können.

Beim Labortest wurde ein defektes Modul von allen Kameras gleichermaßen abgebildet. Um stets gleiche Bedingungen zu gewährleisten, wurde das Modul dabei

Fluke Deutschland GmbH

Fluke Ti25

Die Fluke Ti25 entspricht dem Gehäuse und dem Lieferumfang nach dem ebenfalls getesteten Modell TiRx. Die Unterschiede, die zum deutlich höheren Preis führen, sind eine erhöhte Genauigkeit, ein größerer Temperaturbereich, eine integrierte Digitalkamera und Sprachaufzeichnung sowie ein stark erweiterter Funktionsumfang der Kamerasoftware.

Bedienungsanleitung und Schulungen
Wie beim Modell TiRx (siehe Seite 17).

Anzeige- und Bedienelemente
Trotz der umfangreicheren Software ist die Kamera genauso schnell wie das kleinere Modell nach 13 Sekunden wach. Auch die Anzeige und die Bedienelemente gleichen der TiRx – was sich nachteilig auswirkt, denn den größeren Funktionsumfang kann man mit nur drei Tasten schwer beherrschen. Das Menü wird zum Abruf der diversen Funktionen von einer Seite zur anderen durchgeklickt, was bisweilen ein wenig dauert und besser hätte gelöst werden können.

Funktionsumfang und Bildleistung
Eine sehr praktische Erweiterung der Funktionspalette sind die Sprachnotizen, die man zu jedem Bild speichern kann. So können Informationen über das entstandene Bild einfach und unkompliziert mit diesem verknüpft werden. Das Bild der zusätzlichen Digitalkamera lässt sich entweder als Bild im Bild mit dem Thermogramm zusammenschneiden oder in drei Stufen mit der Option »Fusion« mit diesem überlagern. In der Praxis ist diese Variante vorzuziehen, da das Thermogramm bei der Bild-im-Bild-Option zu stark verkleinert wird. Bei Abständen von mehr als zehn Metern stößt auch diese Kamera an ihre Grenzen, wenn noch einzelne Zellen aufgelöst werden sollen.

Fluke Deutschland GmbH

Bildbearbeitungs- und Auswertesoftware
Wie beim Modell TiRx (siehe Seite 17).

Fazit
Die zusätzlichen Fähigkeiten rechtfertigen den höheren Preis bei diesem Gerät. Die Sprachaufzeichnung ist dabei ein nicht zu unterschätzendes Plus. Funktionen wie »Bild im Bild« und »Fusion« können im mitgelieferten Programm bearbeitet werden, wodurch die Software aufgewertet wird. Es bleiben aber leider auch ein paar Handicaps wie die nicht ganz optimale Bedienbarkeit der Kamera über die drei Multifunktionstasten.

Preis (netto): 6.175 Euro; Kalibrierung: k. A.
Technische Daten: Tabelle Seite 13 und 28
www.fluke.de

FEHLERBILDER UND MÖGLICHE URSACHEN

Muster	Beschreibung	möglicher Fehler	mögliche Ursache	elektrische Messung	Bemerkung
	ein Modul gleichmäßig wärmer als die anderen		Modul nicht angeschlossen	Modul i. d. R. voll funktionsfähig	
	zeilenhafte Erwärmung eines Moduls (ein Strang)	ein Zellenstrang kurzgeschlossen	Bypass-Diode defekt interner Kurzschluss	Verlust der Leistung des Substrangs: Reduktion der Leerlaufspannung	Schmorfleck durch IR-Messung entdeckt
	einzelne Zellen, zufällig verteilt, deutlich wärmer	Modul im Kurzschluss	alle Bypass-Dioden defekt falsch angeschlossen	Leistung des Moduls nahezu null: Leerlaufspannung stark reduziert	»Patchworkmuster«
	eine Zelle deutlich wärmer		Abschattung defekte Zelle	nicht notwendigerweise Leistungsreduktion	visuelle Inspektion erforderlich
	Bruchteil einer Zelle deutlich wärmer	Zellbruch	äußere mechanische Einwirkung	drastische Leistungsreduktion: Reduktion von Kurzschlussstrom und Füllfaktor	
	punktförmige Erwärmung	Artefakt	Abschattung (durch Vogelkot ...)	Leistungsreduktion, je nach Größe und Verschaltung der Zellen	visuelle Inspektion erforderlich
		Zellriss	Fabrikationsfehler	Leistungsreduktion abhängig von der Größe des Risses	erst durch die Hotspot-IR-Messung wird der Riss entdeckt

Quelle: ZAE Bayern

Testo AG

Testo 880-3 Profi-Set

Erst in der obersten Preiskategorie des Testfeldes sind zusätzliche Wechselobjektive Standard. Im »Profi-Set« von Testo ist neben dem Normalobjektiv ein Teleobjektiv beigelegt. Ein bisschen unglücklich ist der ungesicherte Verschluss der Aufbewahrungsdose für Objektive: Wenn man nicht aufpasst, kann das teure Zubehör beim Herausnehmen herunterfallen. Die »Profi«-Ausstattungsvariante definiert sich neben dem Zusatzobjektiv durch einen weiteren Akku, eine Schnellladestation für beide Akkus und eine Blende für die Anzeige. Verpackt ist das Ganze in einem soliden Koffer, wie man es bei einem Messsystem dieser Preisklasse erwarten darf. Nur die ungünstige Befestigung der Objektivverschlusskappe hat sich leider auch bis in diese Preisklasse durchgesetzt.

Bedienungsanleitung und Schulungen

Durch die Funktionen der Kamera führt eine 40-seitige Anleitung, die durch einige Abbildungen unterstützt wird. An manchen Stellen hätte man in dieser Preisklasse mehr Ausführlichkeit erwartet. Für die mitgelieferte Software konnte leider gar keine Anleitung gefunden werden. Bei den Kursen werden die Erwartungen aber voll erfüllt. Der Hersteller bietet mehrere Seminare an, von eintägigen Basisschulungen über fachspezifische Kurse bis hin zu ganzwöchigen Schulungen, an deren Ende man über eine Prüfung ein offizielles Zertifikat erwerben kann.

Anzeige- und Bedienelemente

Für das Hochfahren braucht die Kamera mit 36 Sekunden recht lange. Ist das große, gut auflösende Display dann so weit, kann es auch bei hoher Einstrahlung sogar ohne die zusätzlich verwendbare Blende gut abgelesen werden. Die Menüführung über die gut konzipierten Tasten ist bestens und auch noch durch farbige Symbole verständlich visualisiert. Bei der Bedienung ist die Kamera die erste, die einen Stellmotor für den Fokus besitzt. Dieser passt sich aber leider nicht automatisch an, sondern muss über einen Hebel oberhalb des Pistolengriffs bedient werden. Diese Option ist also nur für den Fall gedacht, dass man keine zweite Hand frei hat, um das Objektiv einzustellen. In der Praxis ist es aber gerade mit kleinen Händen schwer, den Hebel ausreichend präzise zu bedienen, obwohl der Griff sonst gut in der Hand liegt. Die Kamera ist dabei aber auch weniger gut ausbalanciert als die Konkurrenz, da der Schwerpunkt relativ hoch liegt.

testo AG

Funktionsumfang und Bildleistung

Bei den Funktionen muss man keine großen Abstriche machen, so findet sich im Gerät auch eine gut auflösende Digitalkamera mit Beleuchtung. Das damit erzeugte Bild lässt sich mit dem Thermogramm aber leider nur über die Bild-im-Bild- und nicht, wie bei der Fluke Ti25, über eine Bild-Fusions-Option zusammenlegen. Zusätzlich hat die Kamera auch noch einen Laser zur Positionsbestimmung. Die Ausrichtung bezüglich des Thermogramms ist hier aber nicht allzu präzise. Die Bildleistung ist wegen des zusätzlichen Teleobjektivs gut. Hiermit lassen sich auch bei Abständen von mehr als zehn Metern zu den Modulen noch einzelne Zellen auflösen.

Bildbearbeitungs- und Auswertesoftware

Leider bietet auch die »IRSoft«-Software von Testo keine Vorschau beim Öffnen der Bilder an. Auch fand sich kein Weg, Realbild und ein Thermogramm in einem Bild zusammengefügt abzuspeichern. Ansonsten lässt die Software aber kaum zu wünschen übrig, und man kommt auch ohne Anleitung mit ihrer Bedienung zurecht. Die Struktur des Programms ist sehr schön aufgebaut, und einzelne Funktionen sind gut ausgeführt. Beim Finden des heißesten oder kältesten Punktes wird dieser zum Beispiel in Echtzeit gesetzt, während man den Bereich, in dem dieser gesucht werden soll, variiert. Auch die Histogramm- und Profilfunktionen haben sehr viele Einstellmöglichkeiten.

Fazit

Alles in allem ein sehr ausgewogenes System, bei dem man höchstens bei der Anleitung und der Software leichte Abstriche machen muss. Ein wesentlicher Pluspunkt ist das Wechselobjektiv. Ein direkter Vergleich zu anderen Kameras fällt in dieser Preisklasse allerdings schwer, da die Geräte in ihren Funktionen, Stärken und Schwächen zu unterschiedlich sind.

Preis (netto): 7.950 Euro; Kalibrierung: k. A.
Technische Daten: Tabelle Seite 14 und 34
www.testo.de

nicht im Freien der schwankenden Sonneneinstrahlung, sondern im Dunkelraum des PHOTON-Labors einem konstanten elektrischen Strom ausgesetzt. Dieser Strom entsprach dem Doppelten des Kurzschlussstroms des Moduls. Auf diese Art wurde das vom Modul erzeugte Wärmeprofil sehr konstant gehalten, und somit konnten allen Kameras gleiche Bedingungen geliefert werden. Dass das Wärmebild durch diesen Aufbau ein etwas anderes Muster zeigt als bei einer normalen Messung, ist akzeptabel, da es beim Test ja allein um die Orts- und Temperaturauflösungsfähigkeit der Kameras ging.

Die bei dieser Messung erzeugten Bilder wurden über die jeweilige Software noch so weit bearbeitet, dass die Farbpaletten und Temperaturbereiche einander möglichst ähneln, um eine maximale Vergleichbarkeit der Aufnahmen untereinander zu erreichen (siehe Tabelle Seite 12). Obwohl fast alle Geräte einen ähnlichen 120-mal-160-Pixel-Sensor nutzen, kommen am Ende bei den Bildern Qualitätsunterschiede zustande. Diese sind meist auf die verschiedenen digitalen Verarbeitungsverfahren der ursprünglichen Detektorbilder zurückzuführen. Diese Verarbeitung wird sowohl von der Kamera direkt als auch durch die Auswertesoftware durchgeführt. Ein wichtiger Teil sind hier die verschieden starken Interpolationen, mit denen die Bilder aufbereitet werden: Aus einem Bild mit niedriger Auflösung wird dabei eines mit höherer Auflösung errechnet, indem die Software Lücken zwischen den bestehenden Bildpunkten auffüllt. Die Bilderreihe auf Seite 16 veranschaulicht, wie dadurch die subjektiv empfundene Qualität eines Bildes steigt. Trotzdem ist die Interpolation natürlich mit großer Vorsicht zu genießen, da sie Bildinformationen vortäuscht, die tatsächlich gar nicht vorhanden sind. Gleichzeitig lassen sich die mit stärkerer Interpolation erstellten, feiner gezeichneten Bilder besser auswerten. Erfahrung und Kenntnis der Technik sind auch hier gefragt. Es bleibt also dabei: Thermografiekameras sind für den Solarinstallateur ein enorm nützliches Hilfsmittel – aber keines, dessen Gebrauch sich in einer halben Stunde erlernen lässt. | Bernhard Weinreich

Marktübersicht Thermografiekameras auf Seite 24

MARKTÜBERSICHT THERMOGRAFIEKAMERAS

	Flir Systems GmbH	**Flir Systems GmbH**
	Flir i40	Flir i50
im Test	nein	nein
Temperaturmessung		
Temperaturbereich	-20 bis +120 °C / 0 bis +350 °C (umschaltbar)	-20 bis +120 °C / 0 bis +350 °C (umschaltbar)
Empfindlichkeit (NETD)	< 0,1 Kelvin bei 25 °C	< 0,1 Kelvin bei 25 °C
Genauigkeit	± 2 °C / ± 2 %	± 2 °C / ± 2 %
Bildleistung		
Detektorauflösung	120 × 120 Pixel	140 × 140 Pixel
Gesichtsfeld	25° × 25°	25° x 25°
Bildfrequenz	9 Hertz	9 Hertz
Fokussierung	manuell	manuell
Handhabung		
Gewicht	0,6 kg	0,6 kg
Abmessungen	235 × 81 × 175 mm	235 × 81 × 175 mm
Akkulaufzeit	5 h (Akkuladezustand angezeigt)	5 h (Akkuladezustand angezeigt)
Betriebstemperaturbereich	-15 bis +50 °C	-15 bis +50 °C
Schutzklasse	IP 54	IP 54
Vibrations- und Stoßfestigkeit	Vibration: 2 G; Stoß: 25 G	Vibration: 2 G; Stoß: 25 G
zusätzliche Messfunktionen		
Laser-Positionsbestimmung	nein	ja
Kamera für sichtbares Licht	ja (0,6 Megapixel)	ja (2,3 Megapixel; 1.536 × 1.536 Pixel)
Messpunkte im Display	Mitte, Bereichsmessung (Min./Max.)	Mitte, Bereichsmessung (Min./Max.)
Messkorrektur	autom. auf Basis benutzerdefinierter Vorgaben	autom. auf Basis benutzerdefinierter Vorgaben
Emissionsgrad	einstellbar (0,1 bis 1,0)	einstellbar (0,1 bis 1,0)
Datenausgabe		
Bildanzeige/Display	3,5''-Farb-LCD, infrarot, visuell, Fusion, Fusion Bild-im-Bild unveränderlich	3,5'' LCD (240 × 320 Pixel), Infrarot, visuell, Bild-in-Bild, Miniaturbild-Galerie
Speichermedium	Micro-SD-Karte (1 GB)	Micro-SD-Karte (1 GB)
Schnittstellen	MPEG-4 über USB	MPEG-4 über USB
Lieferumfang		
im Preis enthalten	Komplettpaket mit 1-GB-Mikro-SD-Karte, SD-Karten-adapter, Lithium-Ionen-Akku, Netzteil, Ladegerät, »QuickReport«-Software mit USB-Kabel, Objektivabdeckung, Handschlaufe, stabiler Transportkoffer, Bedienungsanleitung auf CD, gedruckte Kurzeinführung	Komplettpaket mit 1-GB-Micro-SD-Karte, SD-Karten-adapter, Lithium-Ionen-Akku, Netzteil, Ladegerät, »QuickReport«-Software mit USB-Kabel, Objektivabdeckung, Handschlaufe, stabiler Transportkoffer, Bedienungsanleitung auf CD, gedruckte Kurzeinführung
optional erhältlich	»Flir-CP« Flir Camera Player (kostenfrei), Holster für »InfraCam« i50 (150 €), Ladestation für 2 Akkus (240 €), Lithium-Ionen-Akku (120 €), Kfz-Adapter für »InfraCam« (75 €), Transportkoffer für »InfraCam« (385 €), Netzteil für InfraCam (120 €), Reporter 8.3 Standard mit Fusion Software für Wärmebildkamera (1.950 €)	»Flir-CP« Flir Camera Player (kostenfrei), Holster für »Infracam« i50 (150 €), Ladestation für 2 Akkus (240 €), Lithium-Ionen-Akku (120 €), Kfz-Adapter für »Infracam« (75 €), Transportkoffer für »Infracam« (385 €), Netzteil für »Infracam« (120 €), Reporter 8.3 Standard mit Fusion-Software für Wärmebildkamera (1.950 €)
Kalibrierung	ab Werk	ab Werk
Preis (ohne Mehrwertsteuer)	4.595 €	5.595 €
Schulungen	Schulungen beim »Infrared Training Center«: zweitägiges Anwenderseminar (650 €), Software-Schulung »ThermaCAM Reporter« (400 €), weitere Kursangebote unter www.thermografie-seminare.de	Schulungen beim »Infrared Training Center«: zweitägiges Anwenderseminar (650 €), Software-Schulung »ThermaCAM Reporter« (400 €), weitere Kursangebote unter www.thermografie-seminare.de
Serviceangebot	technischer Support, 24-Stunden-Ersatzservice für kritische Anwendungen	technischer Support, 24-Stunden-Ersatzservice für kritische Anwendungen
Internet	www.flir.de	www.flir.de

* Im Test wurde eine Flir B250 verwendet, deren zusätzliche Funktionen gegenüber einer b200 aber nicht berücksichtigt wurden, womit effektiv die Eigenschaften einer B200 getestet wurde.

Flir Systems GmbH	**Flir Systems GmbH**	**Flir Systems GmbH**
Flir i60	Flir B40	Flir B250 *
nein	ja	ja
		Flir Systems GmbH (5)
-20 bis +120 °C / 0 bis +350 °C (umschaltbar)	-20 bis +120 °C	-20 bis +120 °C
< 0,1 Kelvin bei 25 °C	< 0,1 Kelvin bei 25 °C	< 0,08 Kelvin bei 30 °C
± 2 °C / ± 2 %	± 2 °C / ± 2 %	± 2 °C / ± 2 %
180 × 180 Pixel	120 × 120 Pixel	200 x 150 Pixel
25° × 25°	25° × 25°	25° x 19° (45° x 34° Weitwinkel-; 15° x 11° Teleobjektiv)
9 Hertz	9 Hertz	9 Hertz
manuell	manuell	automatisch/manuell
0,6 kg	0,6 kg	0,88 kg
235 × 81 × 175 mm	235 × 81 × 175 mm	106 x 201 x125 mm
5 h (Akkuladezustand angezeigt)	5 h (bei 25°C)	4 h (bei 25 °C)
-15 bis +50 °C	-15 bis +50 °C	-15 bis +50 °C
IP 54	IP 54	IP 54
Vibration: 2 G; Stoß: 25 G	Vibration: 2 G; Stoß: 25 G	Vibration: 2 G; Stoß: 25 G
ja	nein	ja
ja (2,3 Megapixel; 1.536 × 1.636 Pixel)	ja (0,6 Megapixel; 768 × 768 Pixel)	ja (1,3 Megapixel; 1.280 x 1.024 Pixel)
Mitte, autom. Heiß-/Kalt-Markierung, Temperaturbereichsmessung	Zentralpunkt, Temperaturbereichsmessung (Min./Max.)	Zentralp., Temperatur- u. Sichtbereichsmessg. (Min./Max.)
autom. auf Basis benutzerdefinierter Vorgaben	k. A.	k. A.
einstellbar (0,1 bis 1,0)	einstellbar (0,1 bis 1,0)	einstellbar (0,1 bis 1,0)
3,5''-Farb-LCD-Display, Infrarot, visuell, Fusion skalierbar	3,5'' LCD (240 x 320 Pixel)	3,5'' LCD mit Touchscreen (320 x 240 Pixel)
Micro-SD-Karte (1 GB, 1.000 Bilder)	Micro-SD-Karte (1 GB)	Micro-SD-Karte (1 GB) im SD-Adapter
MPEG-4 über USB	MPEG-4 über USB	USB (Stick), Mini-USB (PC), Audio, Video (FBAS)
Komplettpaket mit 1-GB-Micro-SD-Karte, SD-Karten-adapter, Lithium-Ionen-Akku, Netzteil, Ladegerät, »QuickReport«-Software mit USB-Kabel, Objektivabdeckung, Handschlaufe, stabiler Transportkoffer, Bedienungsanleitung auf CD, gedruckte Kurzeinführung	MicroSD-Karte, SD-Kartenadapter, Lithium-Ionen-Akku, Netzteil, Ladegerät, »QuickReport«-Software, USB-Kabel, Objektivabdeckung, Handschlaufe, Transportkoffer, Bedienungsanleitung (CD) und gedruckte Kurzeinführung	Micro-SD-Karte, SD-Kartenadapter, Lithium-Ionen-Akku, Netzteil, Ladegerät, »QuickReport«-Software, USB-Kabel, Objektivabdeckung, Handschlaufe, Transportkoffer, Bedienungsanleitung (CD) und gedruckte Kurzeinführung
»Flir-CP« Flir Camera Player (kostenfrei), Holster für »Infracam«, i50 (150 €), Ladestation für 2 Akkus (240 €), Lithium-Ionen-Akku (120 €), Kfz-Adapter für »Infracam« (75 €), Transportkoffer für »Infracam« (385 €), Netzteil für »Infracam« (120 €), Reporter 8.3 Standard mit Fusion-Software für Wärmebildkamera (1.950 €)	Holster (150 €), Ladestation für 2 Akkus (240 €), Lithium-Ionen-Akku (120 €), Kfz-Adapter (75 €), Transportkoffer (385 €), Netzteil (120 €), Software »Reporter 8.3 Standard« mit Fusion-Software für Wärmebildkamera (1.950 €)	k. A.
ab Werk	Kalibrierung innerhalb von 3 bis 5 Tagen	Kalibrierung innerhalb von 3 bis 5 Tagen
6.995 €	4.595 €	9.950 € *
Schulungen beim »Infrared Training Center«: zweitägiges Anwenderseminar (650 €), Software-Schulung »ThermaCAM Reporter« (400 €), weitere Kursangebote unter www.thermografie-seminare.de	Schulungen beim »Infrared Training Center«: zweitägiges Anwenderseminar (650 €), Software-Schulung »ThermaCAM Reporter« (400 €), weitere Kursangebote unter www.thermografie-seminare.de	Schulungen beim »Infrared Training Center«: zweitägiges Anwenderseminar (650 €), Software-Schulung »ThermaCAM Reporter« (400 €), weitere Kursangebote unter www.thermografie-seminare.de
technischer Support, 24-Stunden-Ersatzservice für kritische Anwendungen	technischer Support, 24-Stunden-Ersatzservice für kritische Anwendungen	technischer Support, 24-Stunden-Ersatzservice für kritische Anwendungen
www.flir.de	www.flirthermography.de	www.flirthermography.de

Fortsetzung Seite 28

MARKTÜBERSICHT THERMOGRAFIEKAMERAS (FORTSETZUNG)

	Fluke Deutschland GmbH	Fluke Deutschland GmbH
	Fluke Ti25	Fluke TiR
im Test	ja	nein
Temperaturmessung		
Temperaturbereich	-20 bis +350 °C	-20 bis +100 °C
Empfindlichkeit (NETD)	0,1 Kelvin bei 30 °C	≤ 0,1 Kelvin bei 30 °C
Genauigkeit	± 2 °C / 2 %	± 5 °C / 5 %
Bildleistung		
Detektorauflösung	160 × 120 Pixel	160 × 120 Pixel
Gesichtsfeld	23° × 17°	23° × 17°
Bildfrequenz	9 Hertz	9 Hertz
Fokussierung	manuell	manuell
Handhabung		
Gewicht	1,2 kg	1,1 kg
Abmessungen	270 × 130 × 150 mm	254 × 127 × 152 mm
Akkulaufzeit	3 bis 4 h (bei 50 % Helligkeit LCD)	3 bis 4 h (bei 50 % Helligkeit der LCD)
Betriebstemperaturbereich	-10 bis +50 °C	-10 bis +50 °C
Schutzklasse	IP 54	IP 54
Vibrations- und Stoßfestigkeit	Vibration: 2 G; Stoß: 25 G	Vibration: 2 G; Stoß: 25 G
zusätzliche Messfunktionen		
Laser-Positionsbestimmung	nein	nein
Kamera für sichtbares Licht	ja (0,3 Megapixel; 640 × 480 Pixel)	ja (0,3 Megapixel; 640 × 480 Pixel)
Messpunkte im Display	Zentralpunkt und Heiß-/Kalt-Markierung	k. A.
Messkorrektur	k. A.	k. A.
Emissionsgrad	einstellbar	am Gerät nicht einstellbar (nur über Bearbeitungssoftware)
Datenausgabe		
Bildanzeige/Display	3,6'' LCD (640 x 480 Pixel), hintergrundbel., automatische und manuelle Skalierung, Bild-im-Bild oder Überblendung	3,6'' LCD, Infrarot-Fusion vollständiges Wärmebild, Bild-im-Bild
Speichermedium	SD-Karte (2 GB, mind. 1.200 radiometrische Wärme- u. verknüpfte Sichtbilder)	SD-Speicherkarte (Anzahl der Wärmebilder 3.000, 2 GB)
Schnittstellen	SD-Kartenlesegerät	SD-Kartenlesegerät
Lieferumfang		
im Preis enthalten	»SmartView«-Software, Updates, SD-Karte, SD-Kartenlesegerät für Datenübertragung, Hartschalenkoffer, gepolsterte Tragetasche, Trageschlaufe, Akku, Netzadapter/Ladegerät, Benutzerhandbuch	»SmartView«-Software, Updates, SD-Speicherkarte, SD-Kartenlesegerät für Datenübertragung, Tragekoffer, gepolsterte Tragetasche, Trageschlaufe, Akku, Netzadapter/Ladegerät, mehrsprachiges Benutzerhandbuch, Garantieregistrierungskarte
optional erhältlich	Fluke-TI Ladegerät Kfz-Ladeadapter (Standard-12-VDC-Netzadapter)	k. A.
Kalibrierung	Kalibrierung möglich (Kalibrierzyklus alle zwei Jahre bei normalem Betrieb und normaler Alterung)	Kalibrierung möglich (Kalibrierzyklus alle zwei Jahre bei normalem Betrieb und normaler Alterung)
Preis (ohne Mehrwertsteuer)	6.175 €	4.115 €
Schulungen	zweitägige Thermografie-Anwenderschulung (695 €) u. diverse weitere Kursangebote	zweitägige Thermografie-Anwenderschulung (695 €) u. diverse weitere Kursangebote
Serviceangebot	k. A.	k. A.
Internet	www.fluke.de	www.fluke.de

	Fluke Deutschland GmbH	**Fluke Deutschland GmbH**	**Fluke Deutschland GmbH**
	Fluke TiR1	Fluke TiRx Inspector	Fluke Ti9
	nein	ja	nein
	-20 bis +100 °C	-20 bis +100 °C	-20 bis +250 °C (unter -10 °C nicht kalibr.)
	≤ 0,07 Kelvin bei 30 °C	≤ 0,1 Kelvin bei 30 °C	≤ 0,2 Kelvin bei 30 °C
	± 2 °C / 2 %	± 5 °C / 5 %	± 5 °C / ± 5 %
	160 × 120 Pixel	160 × 120 Pixel	160 × 120 Pixel
	23° × 17°	23° × 17°	23° × 17°
	9 Hertz	9 Hertz	9 Hertz
	manuell	manuell	manuell
	1,1 kg	1,2 kg	1,2 kg
	254 × 127 × 152 mm	254 × 127 × 152 mm	270 × 130 × 150 mm
	3 bis 4 h (bei 50 % Helligkeit der LCD)	3 bis 4 h (bei 50 % Helligkeit der LCD)	3 bis 4 h (bei 50 % Helligkeit der LCD)
	-10 bis +50 °C	-10 bis +50 °C	-10 bis +50 °C
	IP 54	IP 54	IP 54
	Vibration: 2 G; Stoß: 25 G	Vibration: 2 G; Stoß: 25 G	Vibration: 2 G; Stoß: 25 G
	nein	nein	nein
	ja (0,3 Megapixel; 640 × 480 Pixel)	nein	k. A.
	k. A.	Zentralpunkt	Zentralpunkt
	k. A.	k. A.	k. A.
	einstellbar	am Gerät nicht einstellbar (nur über Bearbeitungssoftware)	am Gerät nicht einstellbar (nur über Bearbeitungssoftware)
	3,6″ LCD, Infarot-Fusion vollständiges Wärmebild, Bild-im-Bild	3,6″ LCD (640 × 480 Pixel), hintergrundbeleuchtet, automatische und manuelle Skalierung, vollständiges Wärmebild	3,6″ LCD (640 × 480), hintergrundbeleuchtet, automatische und manuelle Skalierung,
	SD-Speicherkarte (Anzahl der Wärmebilder: 3.000, 2 GB)	SD-Karte (2 GB, mind. 1.200 radiometrische Wärme- u. verknüpfte Sichtbilder)	SD-Speicherkarte (2 GB, mind. 1.200 radiometrische Wärme- und verknüpfte Sichtbilder)
	SD-Kartenlesegerät	SD-Kartenlesegerät	SD-Kartenlesegerät
	»SmartView«-Software, Updates, SD-Speicherkarte, SD-Kartenlesegerät für Datenübertragung, Tragekoffer, gepolsterte Tragetasche, Trageschlaufe, Akku, Netzadapter/Ladegerät, Benutzerhandbuch mehrsprachig, Garantieregistrierungskarte	»SmartView«-Software, Updates, 2-GB-SD-Karte, SD-Kartenlesegerät für Datenübertragung, Hartschalenkoffer, gepolsterte Tragetasche, Trageschlaufe, Akku, Netzadapter/Ladegerät, Benutzerhandbuch mehrsprachig, Garantieregistrierungskarte	»SmartView«-Software, Updates, 2-GB-SD-Karte, SD-Kartenlesegerät für Datenübertragung, robuster Hartschalenkoffer, gepolsterte Tragetasche, Trageschlaufe, Akku, Netzadapter/Ladegerät, Benutzerhandbuch
	k. A.	Upgrade-Kit für Fluke TiRx für »Bild im Bild«-Funktion	Upgrade-Kit für Fluke Ti9
	Kalibrierung möglich (Kalibrierzyklus alle zwei Jahre bei normalem Betrieb und normaler Alterung)	Kalibrierung möglich (Kalibrierzyklus alle zwei Jahre bei normalem Betrieb und normaler Alterung)	Kalibrierung möglich (Kalibrierzyklus alle zwei Jahre bei normalem Betrieb und normaler Alterung)
	6.175 €	2.995 €	2.995 €
	zweitägige Thermografie-Anwenderschulung (695 €) u. diverse weitere Kursangebote	zweitägige Thermografie-Anwenderschulung (695 €) u. diverse weitere Kursangebote	zweitägige Thermografie-Anwenderschulung (695 €) u. diverse weitere Kursangebote
	k. A.	k. A.	k. A.
	www.fluke.de	www.fluke.de	www.fluke.de

Fluke Deutschland GmbH (5)

MARKTÜBERSICHT THERMOGRAFIEKAMERAS (FORTSETZUNG)

	Fluke Deutschland GmbH	Goratec Technology GmbH / NEC/Avio Infrared Technologies
	Fluke Ti10	F30
im Test	nein	nein
	Fluke Deutschland GmbH	Goratec Technology GmbH
Temperaturmessung		
Temperaturbereich	-20 bis +250 °C (unter -10 °C nicht kalibr.)	-20 bis +350 °C
Empfindlichkeit (NETD)	≤ 0,2 Kelvin bei 30 °C	0,1 Kelvin bei 30 °C
Genauigkeit	± 5 °C / ± 5 %	± 2 °C / ± 2 %
Bildleistung		
Detektorauflösung	160 × 120 Pixel	160 × 120 Pixel
Gesichtsfeld	23° × 17°	28° × 21°
Bildfrequenz	9 Hertz	8,5 Hertz
Fokussierung	manuell	manuell; 10 cm bis unendlich
Handhabung		
Gewicht	1,2 kg	0,3 kg (inkl. Akkus)
Abmessungen	270 × 130 × 150 mm	100 × 65 × 45 mm
Akkulaufzeit	3 bis 4 h (bei 50 % Helligkeit der LCD)	2 bis 4 h
Betriebstemperaturbereich	-10 bis +50 °C	-15 bis +50 °C
Schutzklasse	IP 54	IP 43
Vibrations- und Stoßfestigkeit	Vibration: 2 G; Stoß: 25 G	Vibration: 3 G, Stoß: 30 G
zusätzliche Messfunktionen		
Laser-Positionsbestimmung	nein	nein
Kamera für sichtbares Licht	ja (0,3 Megapixel; 640 × 480 Pixel)	ja (0,7 Megapixel, wahlweise automatische Überlagerung von visuellem und Infrarotbild)
Messpunkte im Display	Zentralpunkt	Vollbild-Temperaturmessung; 1 beweglicher Messpunkt, autom. Heiß-/Kalt-Markierung; Isothermendarstellung; Standbild; Mittelung; Temperaturverfolgung; 3 Farbpaletten
Messkorrektur	k. A.	automatische / manuelle Einstellung von Level, Gain und Span
Emissionsgrad	am Gerät nicht einstellbar (nur über Bearbeitungssoftware)	einstellbar
Datenausgabe		
Bildanzeige/Display	3,6'' LCD (640 x 480), hintergrundbeleuchtet, automatische und manuelle Skalierung, Bild-im-Bild oder volles IR-Infrarotbild	2,7''-LCD-Display
Speichermedium	SD-Speicherkarte (2 GB, mind. 1.200 radio-metrische Wärme- und verknüpfte Sichtbilder)	SD-Speicherkarte
Schnittstellen	SD-Kartenlesegerät	PAL / NTSC Standard Videoausgang; USB 2.0
Lieferumfang		
im Preis enthalten	»SmartView«-Software, Updates, 2-GB-SD-Karte, SD-Kartenlesegerät für Datenübertragung, robuster Hartschalenkoffer, gepolsterte Tragetasche, Trageschlaufe, Akku, Netzadapter/Ladegerät, Benutzerhandbuch	F30-Infrarotkamera mit Standardobjektiv, Viewersoftware, Ladegerät für Akku, A/C-Adapter, Netzkabel, 3 wiederaufladbare NiMH-Akkus, Videokabel, USB-Kabel, Tasche, Handbuch
optional erhältlich	k. A.	Analysessoftware, Stativ
Kalibrierung	Kalibrierung möglich (Kalibrierzyklus alle zwei Jahre bei normalem Betrieb und normaler Alterung)	k. A.
Preis (ohne Mehrwertsteuer)	4.115 €	ab 2.950 €
Schulungen	zweitägige Thermografie-Anwenderschulung (695 €) u. diverse weitere Kursangebote	Einführungsseminare Infrarottechnik, Anwenderseminare Kamerapraxis, Anwenderseminare Software
Serviceangebot	k. A.	technischer Support, Austauschgeräte vorhanden, Kalibrierdienst für eigene Kameras
Internet	www.fluke.de	www.goratec.com

Goratec Technology GmbH / SAT	**Infratec GmbH**	**Infratec GmbH**
GTS S100	MobileIR M3	MobileIR M8
nein	nein	nein
Goratec Technology GmbH	Infratec GmbH	Infratec GmbH
-20 bis +250 °C	-20 bis +250	-20 bis +250 °C, optional bis 350°C
0,12 Kelvin	< 0,12 Kelvin	< 0,12 Kelvin
± 2 °C / ± 2 %	± 2 °C / ± 2 %	± 2 °C / ± 2 %
160 × 120 Pixel	160 × 120 Pixel	160 × 120 Pixel
20° × 15°	25° × 19°	21° × 16°
7 / 10 Hertz	50 / 60 Hertz	50 Hertz
manuell	manuell	manuell und automatisch
0,7 kg	0,265 kg	0,35 kg
250 × 80 × 110 mm	120 × 60 × 30 mm	155 × 70 × 45 mm
2,5 h	> 2 h	4 h
-20 bis +50 °C	0 bis +50 °C	-10 bis +60 °C
IP 54	IP 54	IP 54
k. A.	k. A.	k. A.
ja	ja	ja
nein	nein	ja (2 Megapixel)
3 bewegl. Vollbild-Temperaturmessungen, autom. Temperaturbereichsmessung	autom. Erkennung von Hotspots	autom. Erkennung von Hotspots
Entfernung, Umgebungstemp, Luftfeuchte, Emissionsgrad	ja	ja
einstellbar	ja	ja
klappbares 2,5''-LCD-Display	2,2''-TFT-Farbdisplay	2,5''-Touchscreen-Display
Interner Bildspeicher (bis zu 1.000 Bilder)	integrierter Bildspeicher (100 radiometrierte Bilder)	integrierter Bildspeicher, Mini-SD-Karte
USB (Pal/NTSC, Stand. Comp.Vid)	PAL Composite, Headset, USB	PAL/NTSC-Viseo, Headset, USB 2.0
GTS S100 Hotfind, Powersoftware, Ladegerät für Akku, Lithium-Ionen-Akku, Videokabel, USB-Kabel, gepolsterter Hartkoffer, Abdeckung des IR-Objektivs, Handbuch	Software IRBIS 3, Headset, 2 Akkus, Ladegerät	Software IRBIS 3, Headset, 2 Akkus, Ladegerät
Tele- und Weitwinkelobjektiv	k. A.	k. A.
k. A.	k. A.	bis +350 °C
ab 2.900 €	5.450 €	ab 5.800 €
Einführungsseminare Infrarottechnik, Anwenderseminare Kamerapraxis, Anwenderseminare Software	Schulungen in kleinen Seminargruppen: Thermografie-Grundlagenseminar (490 €), Infrarotthermografiekurs Level I zzgl. Prüfungsgebühr (1.680 €), Bauthermografieseminar (285 €)	Schulungen in kleinen Seminargruppen: Thermografie-Grundlagenseminar (490 €), Infrarotthermografiekurs Level I zzgl. Prüfungsgebühr (1.680 €), Bauthermografie-Seminar (285 €)
technischer Support, Austauschgeräte vorhanden, Kalibrierdienst für eigene Kameras	technischer Support	technischer Support
www.goratec.com	www.infratec.net	www.infratec.net

MARKTÜBERSICHT THERMOGRAFIEKAMERAS (FORTSETZUNG)

	NEC/Avio Infrared Technologies	**PCE Deutschland GmbH**
	Thermo Tracer TH7716	PCE-TC 3
im Test	nein	ja
	ebs Automatisierte Thermographie und Systemtechnik GmbH	PCE Deutschland GmbH
Temperaturmessung		
Temperaturbereich	-40 bis +120 °C / 0 bis +500 °C (umschaltbar)	-10 bis +250 °C
Empfindlichkeit (NETD)	0,1 Kelvin bei 30 °C	0,15 Kelvin
Genauigkeit	± 2 °C / ± 2 %	± 2 °C / ± 2 %
Bildleistung		
Detektorauflösung	160 × 120 Pixel	160 × 120 Pixel
Gesichtsfeld	19,1° × 14,3°	20° × 15°
Bildfrequenz	8,5 Hertz	7,5 Hertz
Fokussierung	pan focus	manuell
Handhabung		
Gewicht	1,2 kg	0,75 kg
Abmessungen	102 × 217 × 205 mm	230 × 120 × 110 mm
Akkulaufzeit	3 h	4 h
Betriebstemperaturbereich	-15 bis +45 °C	-15 bis +45 °C
Schutzklasse	IP 54	IP 54
Vibrations- und Stoßfestigkeit	k. A.	k. A.
zusätzliche Messfunktionen		
Laser-Positionsbestimmung	ja	ja
Kamera für sichtbares Licht	ja	nein
Messpunkte im Display	k. A.	2 bewegl. Messpunkte
Messkorrektur	k. A.	k. A.
Emissionsgrad	k. A.	einstellbar
Datenausgabe		
Bildanzeige/Display	schwenkbares 3,5"-Farb-LCD-Display	3,5"-Farb-LCD-Display, hintergrundbeleuchtet
Speichermedium	intergrietrer Speicher (bis zu 400 Bilder)	MMC oder SD-Karte
Schnittstellen	USB, Video NTSC/PAL	USB (Typ B)
Lieferumfang		
im Preis enthalten	Leichtstativ, Video-Anschlusskabel, wiederaufladbarer Standardakku, Kfz-Ladegerät, Transportkoffer, Ladegerät, Multinetzteil, Software	Tischladestation, Ersatzakku, Pkw-Ladegerät, Akku, Ladegerät, USB-Kabel, Report-Software, SD-Karte, Kartenlesegerät, Gummiholster, Gurt, Koffer, Bedienungsanleitung, Auswertesoftware
optional erhältlich	k. A.	Tischladestation (185 €), Kfz-Ladegerät (46 €), Lichtschutz für Optik (54 €), Ersatzakku (165 €), Stativ (49 €)
Kalibrierung	k. A.	Kalibrierung möglich (Kalibrierzertifikat bei Erstbestellung 1.130 €, Rekalibrierung 1.350 €)
Preis (ohne Mehrwertsteuer)	8.500 €	2.475 €
Schulungen	k. A.	keine Schulungen
Serviceangebot	weltweite Service-Center	Ausleihen für 10 Werktage: 297 € (inkl. Mwst.), technischer Support, Reparaturen werden in 3 bis 5 Tagen durchgeführt, Austauschgeräte vorhanden
Internet	www.irpod.net	www.pce-group-europe.com

PCE Deutschland GmbH	**Testo AG**	**Testo AG**
PCE-TC 6	Testo 880-1	Testo 880-2
nein	nein	nein
PCE Deutschland GmbH	testo AG	testo AG
-10 bis +250 °C	-20 bis +100 °C / 0 bis 350 °C (umschaltbar)	-20 bis +100 °C / 0 bis 350 °C (umschaltbar)
0,15 °C	< 0,1 Kelvin bei 30 °C	< 0,1 Kelvin bei 30 °C
± 2 °C / ± 2 %	± 2 °C / ± 2 %	± 2 °C / ± 2 %
160 × 120 Pixel	160 × 120 Pixel	160 × 120 Pixel
9,1° × 6,8°	32° × 24°	32° × 24°; optional: Teleobjektiv 12° × 9°
7,5 Hertz	9 Hertz	33 Hertz
manuell	manuell	manuell
0,8 kg	0,9 kg	0,9 kg
230 × 120 × 110 mm	152 × 106 × 262 mm	152 × 106 × 262 mm
4 bis 6 h	circa 5 h (bei 20 °C)	circa 5 h (bei 20 °C)
-15 bis +45 °C	-15 bis +40 °C	-15 bis +40 °C
IP 54	IP 54	IP 54
k. A.	Stoß: 2 G	Stoß: 2 G
ja	nein	nein
nein	ja (0,3 Megapixel; 640 x 480 Pixel)	nein
2 bewegl. Messpunkte, Differenzmessung	2-Punkt-Messung, Heiß-/Kalt-Markierung	2-Punkt-Messung, Heiß-/Kalt-Markierung
k. A.	Kompensation d. reflektierten Temperatur (manuell)	Kompensation d. reflektierten Temperatur (manuell)
einstellbar (0,02 bis 1,00 in 0,01-Schritten)	einstellbar (0,1 bis 1,0) u. 9 wählbare Materialien	einstellbar (0,01 bis 1,0) u. 9 wählbare Materialien
3,5''-Farb-LCD-Display, hintergrundbeleuchtet, 192 × 192 Pixel	3,5'' LCD, 320 x 240 Pixel, Infrarot- und Echtbild	3,5'' LCD, 320 × 240 Pixel, IR-Bild,
MMC oder SD-Karte	SD-Karte (1 GB, ca. 800 bis 1.000 Bilder)	SD-Karte (1 GB, ca. 800 bis 1.000 Bilder)
USB (Typ B)	USB 2.0	USB 2.0
wiederaufladbarer Akku, Ladenetzteil, Handschlaufe, Software, USB-Kabel, SD-Karte, SD-Kartenleser, Koffer, Bedienungsanleitung	Profi-Software mit integrierter Berichterstellung, SD-Karte, USB-Kabel, Netzteil, Lithium-Ionen-Akku, Adapter zur Stativmontage, robuster Koffer	Profi-Software mit integrierter Berichterstellung, SD-Karte, USB-Kabel, Linsenschutzglas, Netzteil, Lithium-Ionen-Akku, Adapter zur Stativmontage, robuster Koffer
Tischladestation (185 €), Pkw-Ladegerät 12-V- Anschluss (46 €), Ersatzakku (165 €)	Linsenschutzglas, externes Ladegerät, Sun-Shield	externes Ladegerät, Sun-Shield
Kalibrierung möglich (Kalibrierzertifikat bei Erstbestellung 1.130 €, Rekalibrierung 1.350 €)	k. A.	optional ISO-Kalibrierung erhältlich
3.490 €	4.950 €	5.950 €
keine Schulungen	Tagesschulung (310 €), Zweitageschulung (Bauthermografie oder Industriethermografie, 635 €), Sechstageschulung Level 1 (DIN 54163, EN 473, Seminar: 1.680 €, Prüfung: 680 €)	Tagesschulung (310 €), Zweitageschulung (Bauthermografie oder Industriethermografie, 635 €), Sechstageschulung Level 1 (DIN 54163, EN 473, Seminar: 1.680 €, Prüfung: 680 €)
Ausleihen für 10 Werktage: 297 € (inkl. Mwst.), technischer Support, Reparaturen werden in 3 bis 5 Tagen durchgeführt, Austauschgeräte vorhanden	Service-Hotlines für Produkt und Software, Reparaturen werden »in wenigen Tagen« durchgeführt, Austauschgeräte vorhanden, Außendienstnetz	Service-Hotlines für Produkt und Software, Reparaturen werden »in wenigen Tagen« durchgeführt, Austauschgeräte vorhanden, Außendienstnetz
www.pce-group-europe.com	www.testo.de	www.testo.de

MARKTÜBERSICHT THERMOGRAFIEKAMERAS (FORTSETZUNG)

	Testo AG	**Trotec GmbH & Co. KG**
	Testo 880-3 Profi-Set	Trotec IC 060
im Test	ja	nein
	testo AG	TROTEC GmbH & Co. KG
Temperaturmessung		
Temperaturbereich	-20 bis +100 °C / 0 bis +350 °C (umschaltbar)	-20 bis +250 °C
Empfindlichkeit (NETD)	< 0,1 Kelvin bei 30 °C	0,1 Kelvin bei 30 °C
Genauigkeit	± 2 °C / ± 2 %	± 2 °C / ± 2 %
Bildleistung		
Detektorauflösung	160 x 120 Pixel	160 x 120 Pixel
Gesichtsfeld	32° × 24° (12° × 9° Teleobjektiv inklusive)	20° × 15°
Bildfrequenz	33 Hertz (außerhalb der EU: 9 Hertz)	50 / 60 Hertz
Fokussierung	manuell und Motorfokus für Einhandbedienung	manuell
Handhabung		
Gewicht	0,9 kg	0,5 kg
Abmessungen	152 × 106 × 262 mm	211 × 80 × 195 mm
Akkulaufzeit	circa 5 h (bei 20 °C)	2,5 h
Betriebstemperaturbereich	-15 bis +40 °C	-15 bis +50 °C
Schutzklasse	IP 54	IP 54
Vibrations- und Stoßfestigkeit	Stoß: 2 G	Vibration: 2 G
zusätzliche Messfunktionen		
Laser-Positionsbestimmung	ja	ja
Kamera für sichtbares Licht	ja (0,3 Megapixel; 640 × 480 Pixel)	nein
Messpunkte im Display	2-Punkt-Messung, Heiß-/Kalt-Markierung	4 bewegl. Messpunkte (3 manuell, 1 autom.)
Messkorrektur	Kompensation d. reflektierten Temperatur (manuell)	autom. auf Basis benutzerdefinierter Vorgaben
Emissionsgrad	einstellbar (0,01 bis 1,00) u. 9 wählbare Materialien	einstellbar (0,01 bis 1,00)
Datenausgabe		
Bildanzeige/Display	3,5'' LCD (320 x 240 Pixel), nur IR-Bild / nur Echtbild / IR- und Echtbild	2,5'' LCD, Pseudofarben, 6 Farbpaletten
Speichermedium	SD-Karte (1 GB) für ca. 800 bis 1.000 Bilder	eingebauter Flash-Speicher (ca. 1.000 Bilder)
Schnittstellen	USB 2.0	USB 1.1, Composite Video
Lieferumfang		
im Preis enthalten	Profi-Software mit integrierter Berichterstellung, SD-Karte, USB-Kabel, Netzteil, externes Ladegerät, 2 Lithium-Ionen Akkus, Adapter zur Stativmontage, hochwertiger, robuster Koffer, Sun-Shield, Linsenschutzglas	Standard 20° Optik, LCD-Monitor und Laser, Akkuladegerät 110/230 Volt mit Ladestatusanzeige, ein Lithium-Ionen-Akku, Videokabel, USB-Kabel für Bilderdownload auf PC, Bedienungsanleitung, Transportkoffer, Softwarepaket Temperatur-Prüfzertifikat
optional erhältlich	Funkfeuchtefühler (200 €)	Profi-Software, Database-Software, Stativ-Befestigungs-vorrichtung, Netzteil, 12-V-Adapter für Pkw, Zusatzakku, Lederholster, Wechselobjektive: 38°, 28°, 14°, 12°, 9°, 6.4°, 4.8°, 3.5°
Kalibrierung	Kalibrierung möglich	k. A.
Preis (ohne Mehrwertsteuer)	7.950 €	2.995 €
Schulungen	Tagesschulung (310 €), Zweitageschulung (Bauthermografie oder Industriethermografie, 635 €), Sechstageschulung Level 1 (DIN 54163, EN 473, Seminar: 1.680 €, Prüfung: 680 €)	Tagesseminar zur Einweisung in Thermografie u. Software (jeden Monat, 300 €)
Serviceangebot	Service-Hotlines für Produkt und Software, Reparaturen werden »in wenigen Tagen« durchgeführt, Aus-tauschgeräte vorhanden, Außendienstnetz	technischer Support, Reparaturen werden »in wenigen Tagen« durchgeführt, Austauschgeräte vorhanden
Internet	www.testo.de	www.trotec24.com

** Im Test wurde eine IC 080 mit einem für die Photovoltaik-Inspektion unnötig großen Temperaturbereich getestet, das eigentlich angeforderte etwas günstigere Modell IC 060 stand leider nicht zur Verfügung.

Trotec GmbH & Co. KG	**Trotec GmbH & Co. KG**	**Trotec GmbH & Co. KG**
Trotec IC 080 **	Trotec IC 080 LV	Trotec S 180
ja	nein	nein
TROTEC GmbH & Co. KG	TROTEC GmbH & Co. KG	TROTEC GmbH & Co. KG
-20 bis +800 °C	-20 bis +600 °C	-20 bis +250 °C
0,1 Kelvin bei 30 °C	0,08 Kelvin bei 30 °C	0,1 Kelvin bei 30 °C
± 2 °C / ± 2 %	± 2 °C / ± 2 %	± 2 °C / ± 2 %
160 × 120 Pixel	384 × 288 Pixel	160 × 120 Pixel
20° × 15°	24° × 21°	20° × 15°
50 / 60 Hertz	50 / 60 Hertz	50 / 60 Hertz
manuell	manuell	manuell
0,7 kg	0,65 kg	0,5 kg
211 × 80 × 195 mm	230 × 80 × 195 mm	175 × 55 × 160 mm
2,5 h	2,5 h	> 3 h
-20 bis +50 °C	-15 bis +50 °C	-15 bis +50 °C
IP 54	IP 54	IP 54
k. A.	Vibration: 2 G	k. A.
ja	ja	ja
nein	ja (0,3 Megapixel; 640 × 480 Pixel) integrierte Fotoleuchte	ja (0,3 Megapixel; 640 × 480 Pixel)
4 bewegl. Messpunkte (3 manuell, 1 autom.)	4 bewegl. Temperaturmesspunkte (3 manuell, 1 autom.)	4 bewegl. Temperaturmesspunkte (3 manuell, 1 autom.)
autom. auf Basis benutzerdefinierter Vorgaben	autom. auf Basis der Umgebungstemp., Entfernung, relative Feuchte	autom. auf Basis der Umgebungstemp., Entfernung, relative Feuchte
einstellbar (0,01 bis 1,00)	einstellbar (0,01 – 1,00)	einstellbar (0,01 – 1,00)
2,5'' LCD, Pseudofarben, 6 Farbpaletten	2,5'' LCD, Pseudofarben, 6 Farbpaletten, 4 Duo-Vision-Optionen	schwenkbares Farb-LCD-Display (320 × 240 Pixel), Bildüberlagerung von Infrarot- und Digitalbild
eingebauter Flash-Speicher, ca. 1.000 Bilder	Wechselspeicher-Steckplatz für Mini-SD-Karte	Standard-SD-Karte (1 GB, bis zu 2 GB möglich, keine Mini-/Micro-SD)
USB	USB 2.0, Bluetooth (optional), Composite Video	USB 2.0, Bluetooth, Composite Video
Batterieladegerät 110/230 Volt mit Ladestatusanzeige, Lithium-Ionen-Akku, Videokabel, USB-Kabel, Bedienungsanleitung, Transportkoffer, Softwarepaket, Temperatur-Prüfzertifikat	Softwarepaket, Bedienungsanleitung, Mini-SD-Karte, Transportkoffer, Lithium-Ionen-Akku, Ladegerät, Temperatur-Prüfzertifikat	Softwarepaket, Bedienungsanleitung, 1-GB-SD-Karte, Transportkoffer, zwei Lithium-Ionen-Akkus, Docking-Ladestation mit Schnittstelle USB 2.0, Ladegerät, Video- und USB-Kabel, Temperatur-Prüfzertifikat
Profi-Software, Database-Software, Stativ-Befestigungsvorrichtung, Netzteil, 12-V-Adapter für Zigarettenanzünder, Zusatzbatterie, Lederholster, Wechselobjektive: 38°, 28°, 14°, 12°, 9°, 6.4°, 4.8°, 3.5°	Profisoftware, Temperaturmessbereich bis 1.500 °C, Netzteil, Aufrüstung auf IEEE 1394 (Echtzeit), Wechselobjektive: 48° und 12°, Bluetooth-Erweiterung und Bluetooth-Headset; weiteres Zubehör auf Anfrage	Temperaturmessbereich bis 1.500 °C oder bis 2.000 °C, Netzteil, Aufrüstung auf IEEE 1394 (Echtzeit), weiteres Zubehör auf Anfrage
k. A.	k. A.	k. A.
3.295 € **	4.995 €	6.495 €
Tagesseminar zur Einweisung in Thermografie u. Software (jeden Monat, 300 €)	Tagesseminar zur Einweisung in Thermografie u. Software (jeden Monat, 300 €)	Tagesseminar zur Einweisung in Thermografie u. Software (jeden Monat, 300 €)
technischer Support, Reparaturen werden »in wenigen Tagen« durchgeführt, Austauschgeräte vorhanden	technischer Support, Reparaturen werden »in wenigen Tagen« durchgeführt, Austauschgeräte vorhanden	technischer Support, Reparaturen werden »in wenigen Tagen« durchgeführt, Austauschgeräte vorhanden
www.trotec24.com	www.trotec24.com	www.trotec24.com